



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

TRABAJO FINAL DE GRADO

**TÍTULO: ESTUDIO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UN AUTOMÓVIL UTILIZANDO CÉLULAS TERMOELÉCTRICAS**

Autor: Carlos Fernández Torres

Director: Antonio Miguel López Martínez

Titulación: Grado en ingeniería en tecnologías industriales

Departamento: Departamento de ingeniería electrónica

Convocatoria: 22 de Junio de 2016



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

Documento 1: Memoria y Anexo 1



Abstract

Desde que se descubrió la termoelectricidad en el siglo XIX, han sido muchos los que han querido llevar este fenómeno a la práctica mediante, por ejemplo, las células termoeléctricas. El propósito de este estudio es explorar las posibilidades de estas como generadores de energía en el sector del automóvil. El coste, el número de células a utilizar y el emplazamiento serán las variables a evaluar.

El estudio se dividirá en dos partes, el diseño de una instalación compuesta por termocélulas que se pueda acoplar a un turismo y la construcción de un prototipo que pueda simular dicha instalación. En la primera parte será fundamental el emplazamiento a escoger puesto que este dictaminará en rango de temperaturas de trabajo y por lo tanto, que tipo de célula se ha de seleccionar. Por otro lado, también vendrá condicionado por su viabilidad económica puesto que la optimización del precio será primordial.

La segunda parte estará centrada en la construcción de un prototipo y su posterior simulación en condiciones de trabajo estándar. Con esto, se podrá comprobar el funcionamiento real de sistema así como validar los datos ideales obtenidos.



Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivo	1
1.2. Alcance	1
1.3. Requisitos	2
1.4. Justificación.....	2
2. Viabilidad técnica	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Estudio del arte	4
2.2.1. Termoelectricidad	5
2.2.2. Pérdidas caloríficas en los turismos	11
2.2.3. Circuitos electrónicos	13
2.3. Decisión sobre la solución	16
2.4 Diseño instalación	17
2.4.1. Definición componentes termoeléctricos	18
2.4.2. Estudio termodinámico.....	19
2.4.3. Diseño geometría.....	21
2.4.4. Diseño circuitos eléctricos.....	23
2.4.5. Consumidor	24
2.4.6. Diseño final	29
2.4.7. Ejemplo aplicación instalación	39
2.5. Legislación	41
3. Viabilidad económica	43
4. Prototipado	45
4.1. Módulo TEG	45
4.2. Disipador de calor y elemento de cohesión	46
4.3. Pico	47
4.4. Simulador radiador	47
4.5. Montaje y prueba.....	49
4.6 Resultados	50
5. Resumen de resultados	59
5.1. Implicaciones ambientales	59
5.1.1. RoHS	59



5.1.2. T-Global Technology.....	60
5.1.3. ABL Heatsinks y pasta térmica	61
5.1.4 Traco Power	62
5.1.5. Ritar Power	62
5.1.6. Gestión de los residuos.....	63
5.2. Planificación trabajo futuro	64
5.3. Conclusiones.....	65
6. Anexo 1	68
6.1. Cálculos	68
6.2. Datasheets	71
6.2.1. Radiador Valeo	71
6.2.2. Módulo TEG para diseño	72
6.2.3. Disipador de calor para diseño.....	73
6.2.4. Pasta térmica para diseño	74
6.2.5. Convertidor	75
6.2.6. Batería	76
6.2.7. Módulo TEG para prototipo	77
6.2.8. Disipador de calor para prototipo	79
6.2.9. Pasta térmica para prototipo	80
6.3. Ecuaciones.....	80
7. Índice ilustraciones	82
8. Índice tablas.....	84
9. Índice gráficas.....	85
10. Bibliografía.....	86

1. Introducció

1.1. Objectivo

A partir de la diferencia de temperatura en diversos puntos de un automóvil se generará energía eléctrica utilizando células termoeléctricas en modo Seebeck. Se optimizarán los sistemas térmico y electrónico para obtener un rendimiento óptimo.

1.2. Alcance

El alcance de este estudio es el siguiente:

- Se realizará un estudio de las diferentes células termoeléctricas del mercado, haciendo especial énfasis en los rangos de temperaturas en las que trabajan.
- Se desarrollará una evaluación sobre la parte más óptima de un turismo para instalar el sistema de recuperación de energía.
- Se realizará un estudio sobre los diferentes componentes que debe contener la instalación.
- Se diseñará una posible instalación: esto conllevará el diseño de dos partes. Por un lado, se diseñará una geometría formada por células que se pueda acoplar al turismo y por el otro, se diseñará el sistema electrónico que procesará la energía eléctrica obtenida.
- Se realizarán los cálculos pertinentes a la energía eléctrica obtenida con dicha instalación en función de diferentes parámetros.
- Se diseñará un prototipo acorde con la instalación diseñada.
- Se realizará la construcción y la prueba de dicho prototipo.
- No se realizarán cálculos térmicos exhaustivos

1.3. Requisitos

Los requerimientos que ha de cumplir este estudio son los siguientes:

- La instalación diseñada ha de poderse acoplar a un turismo sin tener que redistribuir el espacio.
- Se optimizará el presupuesto en función de la oferta del mercado.
- El prototipo ha de cumplir la legislación de tráfico para vehículos.
- Todos los componentes y circuitos electrónicos que se utilicen han de cumplir su legislación correspondiente.

1.4. Justificación

En una etapa en la que la contaminación de los turismos se mira con lupa, es de suma importancia buscar el mayor ahorro de combustible posible. Por ello, la recuperación de energía se convierte en una opción a tener en cuenta, ya que permite convertir las pérdidas en energía útil.

Este trabajo se va a basar específicamente en las pérdidas caloríficas, a partir de las cuales, se generará energía eléctrica mediante la utilización de células termoeléctricas. Esta energía eléctrica se almacenará en una batería para su posterior uso. Con este trabajo no se pretende diseñar un sistema que cubra grandes gastos energéticos pero si se podría utilizar, por ejemplo, para la alimentación de la pantalla LCD que llevan incorporada los turismos modernos.

Esta es la gran ventaja en la que se basa el trabajo, alimentar pequeños sistemas electrónicos del turismo mediante la recuperación de energía. A corto plazo, el ahorro quizás es insignificante pero se espera que a largo plazo, se pueda comprobar un mínimo ahorro. Como desventajas principales, estaría por un lado el tema de espacio y peso, dos aspectos que en los turismos actuales están muy optimizados, por lo que la localización de la instalación será una decisión crítica del estudio. Por otro lado, el rendimiento de las células también podría ser una desventaja ya que se encuentra alrededor del 15%.

Por último, es importante señalar que en el campus de Terrassa no se han realizado trabajos relacionados con células termoeléctricas por lo que este trabajo podría servir de precedente para futuros trabajos sobre esta temática.

2. Viabilidad técnica

2.1. Antecedentes

El fenómeno en el que se basa principalmente este trabajo es la termoelectricidad. Este efecto es básicamente la transformación de una diferencia de temperatura en un voltaje eléctrico o viceversa. Por lo tanto, un dispositivo basado en este efecto puede funcionar de dos maneras, por un lado se le puede aplicar un voltaje entre sus bornes y este creará un gradiente de temperaturas y por el otro, gracias a una diferencia de temperatura creará un voltaje de salida.

Este fenómeno fue descubierto y estudiado por tres físicos diferentes los cuales dan nombre a tres efectos diferentes. El primer efecto fue descubierto por Thomas Johann Seebeck en 1821. Seebeck unió dos materiales conductores distintos entre sí por uno de sus extremos y les aplicó una diferencia de temperatura. Observó que si situaba una aguja metálica entre estos dos materiales ésta se desviaba.

Este experimento demostró por lo tanto que si se aplicaba una diferencia de temperaturas a dos materiales conductores aparecía una diferencia de potencial. A este efecto se le denomina efecto Seebeck.

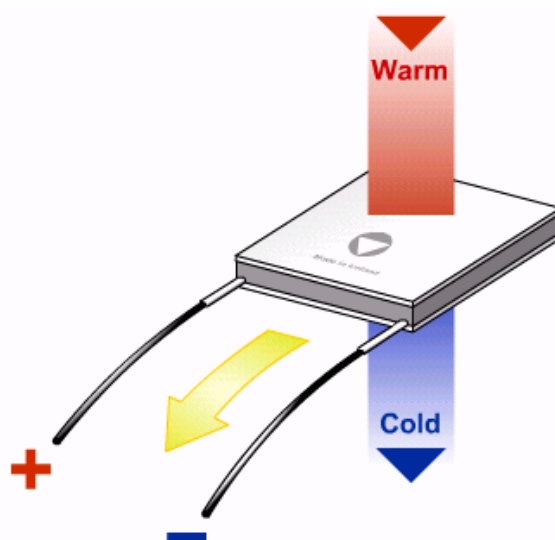


Ilustración 1: Efecto Seebeck. Fuente: www.nergiza.com

En 1834 el físico Jean-Charles Peltier descubrió el segundo efecto, el cual estaba directamente relacionado con el primero. Él observó que si aplicaba una corriente eléctrica a dos materiales conductores diferentes aparecía una diferencia de temperatura entre ellos. A este segundo efecto se le llama efecto Peltier y por eso en general al fenómeno termoelectrónico se le suele llamar efecto Seebeck-Peltier, por las dos formas en las que puede funcionar.

El tercer y último efecto fue demostrado por William Thomson en 1851. Thomson demostró que los efectos Seebeck y Peltier están íntegramente relacionados y demostró que estos efectos se pueden producir en único material, es decir, no existía la necesidad de unir dos materiales diferentes. A este descubrimiento se le denomina efecto Thomson, aunque actualmente está integrado dentro del concepto Seebeck-Peltier.

2.2. Estudio del arte

Como ya se ha comentado, este estudio tiene el fin de diseñar una instalación en un turismo que convierta las pérdidas caloríficas de algún elemento del automóvil en electricidad. Como paso previo al desarrollo de esta instalación y su posterior prototipado hay que hacer un estudio del arte de los diferentes temas que están relacionados con esta. Estos temas son básicamente tres: el concepto de termoelectricidad, las diferentes partes de un automóvil y los circuitos electrónicos.

El primero está relacionado con las células termoelectrónicas que se utilizaran para convertir una diferencia de temperatura en energía eléctrica. El segundo se centrará en la búsqueda de los diferentes componentes de un turismo donde existan flujos residuales y el tercero hace referencia a los sistemas electrónicos que son necesarios para transportar y manipular la energía eléctrica obtenida.

2.2.1. Termoelectricidad

En este apartado se explicarán todos los conceptos básicos necesarios para comprender el funcionamiento de las células termoeléctricas y sus diferentes modos de uso. También se explicará de forma breve algunas aplicaciones de este concepto y se hará especial énfasis en la aplicación concreta de este proyecto.

2.2.1.1 Semiconductores

Para poder explicar el funcionamiento de los diferentes efectos será necesario aclarar primero que es un semiconductor y que tipos hay. Un semiconductor es un elemento que se puede comportar como conductor o como aislante dependiendo de diversos factores, entre los cuales se encuentra la temperatura y el campo eléctrico.

Dentro de los semiconductores se encuentran dos grandes grupos, los intrínsecos y los extrínsecos. Los primeros están formados por una estructura tetraédrica mediante enlaces covalentes. Cuando el material se encuentra a temperatura ambiente, algunos electrones (portadores negativos) pueden absorber la energía necesaria para saltar a la banda de conducción dejando un hueco (portadores positivos) en la banda de valencia. De igual modo, un electrón puede caer de la banda de conducción a un hueco en la banda de valencia, liberando energía en el proceso.

Cuando se somete el material a una diferencia de potencial, se producen dos corrientes eléctricas: una en la banda de conducción y la otra en la banda de valencia producida por el salto de los electrones a los huecos próximos. Esta segunda corriente es de sentido contrario al campo eléctrico aunque su valor es muy inferior a la creada en la banda de conducción.

En cuanto a los semiconductores extrínsecos, estos son igual que los intrínsecos pero con una serie de impurezas añadidas. Según el tipo de impureza será un semiconductor de tipo N o de tipo P. Los tipos N se consiguen añadiendo un cierto tipo de átomos para aumentar los portadores negativos mientras que a los tipos P se añaden átomos para aumentar el número de portadores positivos. Las células termoeléctricas están formadas por dos caras unidas, siendo una de tipo P y la otra de tipo N.

2.2.1.2. Efecto Seebeck

Como ya se ha comentado el efecto Seebeck es la conversión de una diferencia de temperatura en un voltaje eléctrico. El mecanismo para que ocurra este efecto es el siguiente: tenemos un par formado por un material semiconductor de tipo P y de un material tipo N que están unidos entre sí por un material conductor de poder termoeléctrico nulo. Cuando se aplica una diferencia de temperaturas entre los dos materiales, aparece un flujo calorífico que va de la placa caliente a la fría. Este hecho produce que la fuente de calor conduzca los electrones del tipo N hacia la fuente fría, creando así una corriente en el circuito. Los huecos del tipo P se desplazarán en el sentido de la corriente y se creará una diferencia de potencial de unos micro voltios.

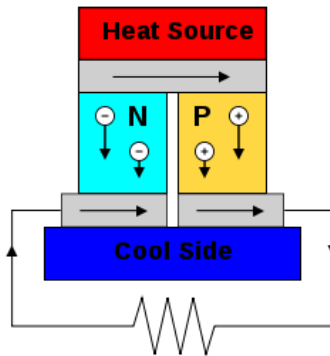


Ilustración 2: Efecto Seebeck. Fuente: <https://es.wikipedia.org/>

El voltaje obtenido mediante este efecto se puede calcular de la siguiente manera:

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT$$

Donde S_B y S_A son los coeficientes Seebeck los cuales son una medida del voltaje termoeléctrico inducido en respuesta a una diferencia de temperatura en un material. Si estos coeficientes son constantes para el rango de temperaturas medido, la ecuación anterior se puede simplificar como:

$$V = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1)$$

Por otro lado, la eficiencia termodinámica también denominada factor de mérito se puede escribir como:

$$Z = \frac{\sigma}{\kappa} S^2$$

Donde σ es la conductividad eléctrica y κ la conductividad térmica. Cuanto más alto sea el factor, mayor eficiencia termodinámica, aunque valores cercanos a la unidad ya se consideran buenos.

2.2.1.3. Efecto Peltier

En este efecto, se transforma energía eléctrica en un flujo calorífico. El mecanismo es exactamente el inverso al modo Seebeck, es decir, partiendo de un diferencial de potencia, los electrones en el tipo N se moverán en la dirección contraria a la corriente y los huecos en el tipo P se moverán en la dirección de la corriente. Este hecho hará que ambos remuevan calor de un lado del dispositivo, creando pues una diferencia de temperatura.

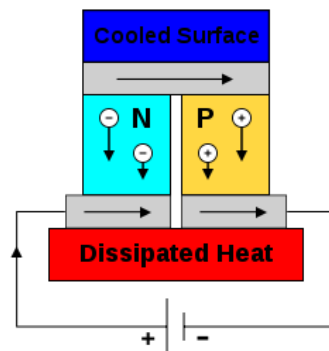


Ilustración 3: Efecto Peltier. Fuente: <https://es.wikipedia.org/>

El flujo calorífico que se obtiene con este efecto se puede calcular de la siguiente forma:

$$\dot{Q} = I \cdot (\Pi_B - \Pi_A)$$

Donde Π_B y Π_A son los coeficientes de peltier de los materiales.

2.2.1.4. Efecto Thomson

Como ya se ha comentado, el efecto Thomson se basa en la aplicación de los estudios de Peltier y Seebeck en un mismo material, por esta razón su primer paso fue relacionar el gradiente de temperatura, con la corriente eléctrica generada y el flujo de calor absorbido en un mismo material:

$$\frac{dQ}{dX} = I \cdot \frac{dT}{dx} \tau$$

Donde τ es el coeficiente de Thomson que puede ser positivo o negativo dependiendo del sentido del flujo de calor. A esta ecuación también se le podría añadir el termino ρI^2 correspondiente a la calor de Joule. Su segundo paso fue relacionar Peltier con Seebeck y la relación que expuso es la siguiente:

$$\Pi = S \cdot T$$

Por último, también encontró la relación entre el coeficiente de Thomson y el de Seebeck:

$$\tau = T \cdot \left(\frac{dS}{dT} \right)$$

2.2.1.5. Composición, materiales y temperaturas de trabajo

Actualmente se dispone de diferentes materiales termoeléctricos. La elección del material más adecuado se basará, por lo tanto, en el rango de temperaturas en el que se quiere trabajar. Se pueden diferenciar cuatro grupos de temperaturas diferentes; bajas, ambientes, intermedias y altas.

El primer grupo englobaría temperaturas de entre 150 y 200 kelvin y el material más utilizado en estas condiciones es la aleación de bismuto y antimonio $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$. El problema con este material es que sólo posee buenas características termoeléctricas para el tipo N, mientras que para el tipo P no es eficaz. Por este motivo el rendimiento de estos dispositivos es bajo y suelen ir acompañados de un imán permanente, ya que la aplicación de un campo magnético hace duplicar su factor de mérito.

El segundo grupo se encuentra en temperaturas alrededor de la temperatura ambiente y el material más utilizado es la aleación de antimonio y telurio Sb_2Te_3 por sus buenas prestaciones (factor de mérito cercano a la unidad) aunque también se está estudiando la aleación de bismuto y telurio Bi_2Te_3 .

En el rango de temperaturas entre 550 y 750 kelvin se encuentra el tercer grupo. El material más utilizado es la aleación de telurio de plomo y telurio de estaño $(\text{PbSn})\text{Te}$. El problema es que este material sólo es eficaz para los tipos N, mientras que para los tipos P se utiliza un material de tipo TAGS (Telurio-Antimonio-Germanio-Plata) por lo que los estudios actuales están centrados en la búsqueda de un material que pueda hacer los dos tipos.

El último grupo engloba las temperaturas por encima de 1000 kelvin donde encontramos como materiales las aleaciones de silicio y germanio, los cuales poseen buenas prestaciones.

2.2.1.6. Aplicaciones

La aplicación principal de la termoelectricidad es la refrigeración termoeléctrica la cual se diferencia de la refrigeración clásica de compresión-expansión en que esta no necesita de partes móviles. Este hecho la hace más fiable y elimina posibles vibraciones por lo que se convierte en la mejor opción para refrigerar circuitos integrados o sistemas con láser. Además, puesto que la temperatura se puede regular de forma precisa, tiene una gran utilidad en el transporte de órganos.

Otra aplicación de este fenómeno y en la cual se va a centrar este trabajo es la generación de energía eléctrica. Esta aplicación se basa en aprovechar pérdidas caloríficas en electricidad mediante el efecto Seebeck. Esta aplicación es muy amplia ya que podemos encontrar flujos de calor residual en muchos ámbitos además de que supone una mejora del rendimiento si consideramos el ciclo total.

Por último, una aplicación importante es la de la aeronáutica, donde se utiliza la termoelectricidad para alimentar sondas espaciales, como la Voyager, debido a su gran fiabilidad y sobre todo a las altas temperaturas a las que se puede trabajar.

Este trabajo se va a centrar en los turismos, donde se van a convertir las pérdidas caloríficas en electricidad, la cual puede utilizarse para alimentar parte de la electrónica del automóvil. Esto produce una reducción del trabajo del alternador y consecuentemente una reducción del consumo de combustible. Este sistema está todavía en investigación aunque BMW ya está empezando a implantarlo en sus nuevos turismos, consiguiendo una potencia de 200 vatios. Se espera, eso sí, que en un futuro no muy lejano se pueda llegar a los 1000 vatios.



Ilustración 4: Sistema termoelectrico BMW. Fuente: www.motorfull.com

En la siguiente foto se puede ver el tubo de escape con una cámara térmica:

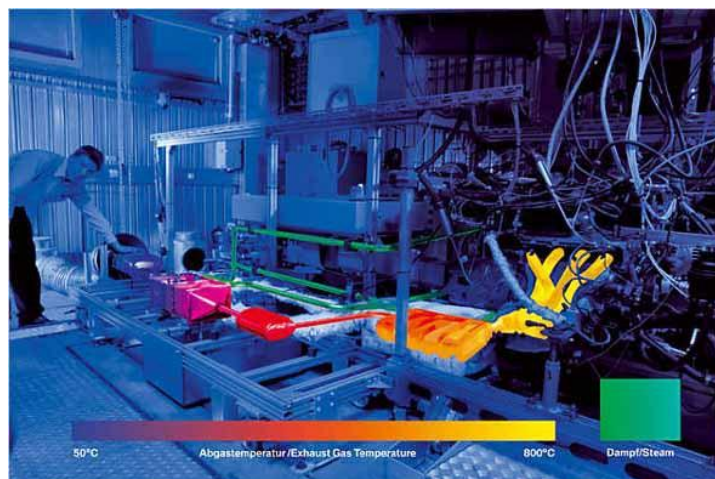


Ilustración 5: Flujos residuales en el sistema de escape. Fuente: www.motorfull.com

Se puede observar la gran cantidad de flujos residuales existentes en el sistema de escape de gases de un vehículo convencional.

2.2.2. Pérdidas caloríficas en los turismos

En este apartado se estudiarán las diferentes partes de un turismo que desprenden flujo residual. Para ello, se analizarán tres partes esenciales: el sistema de escape, el motor y el radiador.

2.2.2.1. Sistema de escape

El sistema de escape, como bien es sabido, sirve para evacuar los gases de combustión desde el motor hasta el medio ambiente. Estos se recogen en las válvulas de salida de los cilindros del motor y a través de un tubo se hacen pasar por una serie de elementos. Primero, se hacen pasar por un catalizador para reducir las partículas contaminantes. Después, pasan a través de un silenciador para reducir la intensidad del sonido del gas y por último sale al medio ambiente mediante el tubo de escape.

Los gases salen de las válvulas a más de 700 grados por lo que el sistema de escape puede alcanzar temperaturas muy elevadas. Esto produce que sea una zona donde existen grandes flujos residuales los cuales son totalmente desaprovechados. Por lo tanto, esta sería una perfecta localización para instalar un pack de células en modo Seebeck para poder generar energía. La ventaja principal es que al haber una diferencia de temperatura tan grande se produciría una cantidad significativa de electricidad con pocas placas.

Por el contrario, los materiales que compongan estas células han de ser capaces de soportar tales temperaturas que como ya se ha comentado serían de silicio o germanio. Estos materiales son costosos por lo que en este trabajo se descarta esta opción, aunque se remarca que esta sería la mejor opción a falta de comprobar si el sistema sería amortizable.

También hay que comentar que actualmente las células suelen ser de forma cuadrada pero se están realizando investigaciones para lograr hacerlas en forma de anillo, lo cual sería muy útil para acoplarlas directamente al tubo de escape.

2.2.2.2. Motor

El motor es el elemento esencial de un turismo. Este se encarga de transformar la energía de combustión en energía mecánica la cual proporciona un movimiento al vehículo. Dentro de los cilindros del motor donde se producen las explosiones se alcanzan hasta los 2000 grados dependiendo del combustible por lo que el motor es un elemento que transfiere mucha calor al exterior, de ahí que necesite ser refrigerado.

La culata de los motores puede alcanzar los 100 grados por lo que sería una buena localización para colocar un pack de células. El problema que habría es que las culatas suelen tener una superficie irregular por lo que quizás sería difícil aprovechar las pérdidas en su totalidad. Además, el diagrama de temperaturas en la superficie no es constante, es decir, las células trabajarán a diferente temperatura. Aun así, se podrían generar unos cuantos voltios de potencia.



Ilustración 6: Culatas motores. Fuentes:

http://www.arpem.com/coches/coches/mercedes/clase_c/fotos/2013/63-amg-edition-507-2p-motor.html

<http://www.automundoo.com/automovil-bmw-active-hybrid-5-una-maquina-hibrida>

2.2.2.3. Radiador

El radiador del coche forma parte del sistema de refrigeración del motor evitando así los sobrecalentamientos de este. Su funcionamiento es simple, por un lado entra el refrigerante caliente proveniente del motor y pasa por un serpentín de tubos de cobre. Mientras pasa por esta serie de tubos es enfriado mediante convección forzada con aire exterior mediante un ventilador.

Después vuelve a entrar al motor para poder seguir refrigerando las zonas de mayor trabajo como se puede observar en la siguiente ilustración:

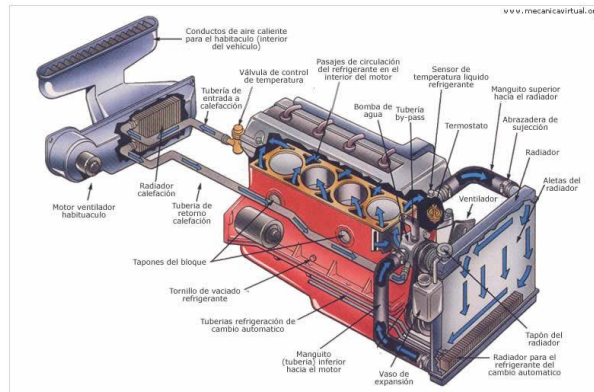


Ilustración 7: Radiador turismo. Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/hazlo-anticongelante.htm>

Este elemento suele trabajar a unos 80 grados de temperatura y esto junto a su superficie totalmente plana lo convierte en el mejor lugar para realizar la instalación. Además, como las células absorben el flujo calorífico ayudarían a la refrigeración del líquido.



Ilustración 8: Radiadorturismo real. Fuente: <http://www.recambiosviaweb.com/radiador-refrigeracion-del-motor.html>

2.2.3. Circuitos electrónicos

A continuación se van a explicar los diferentes sistemas electrónicos que se utilizan para regular y manipular la tensión. Estos componentes tienen como objetivo estabilizar la tensión para hacer llegar al punto final de consumo un valor correcto de voltaje y corriente. Si no se pusieran estos elementos, se podría dañar la instalación poniendo en peligro incluso el buen funcionamiento del automóvil. Además, también se hará una breve explicación de los diferentes sistemas que podría alimentar.

2.2.3.1. Cableado células

Una vez estén situadas todas las células a utilizar habrá que realizar las conexiones entre ellas. Estas conexiones deberán ser mixtas puesto que con una conexión en serie conseguiremos sumar los voltajes que estas proporcionen y con una en paralelo conseguiremos sumar las intensidades. Se realizarán más conexiones o menos en serie o paralelo dependiendo de las características que se requieran en el punto final de consumo. El circuito quedaría de la siguiente manera:

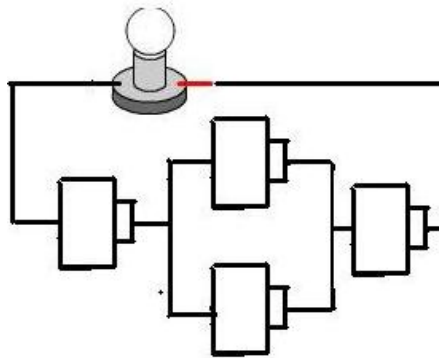


Ilustración 9: Ejemplo conexión mixta. Fuente: <http://igelectricidad.blogspot.com.es/2009/11/1-que-es-una-conexion-mixtaque-otro.html>

2.2.3.2. Convertidores

Un convertidor es un elemento que transforma corriente de una tensión a otra que en el caso de este estudio se trata de una corriente en continua (DC). Los convertidores dan una tensión regulada en su salida que puede ser mayor o menos que la de la entrada. Según estos casos, se puede distinguir entre convertidores reductores (Buck), elevadores (Boost) o reductores-elevadores (Buck-Boost). Lo que este último hace es proporcionar un voltaje menor o mayor dependiendo del ciclo de trabajo que se le aplique.

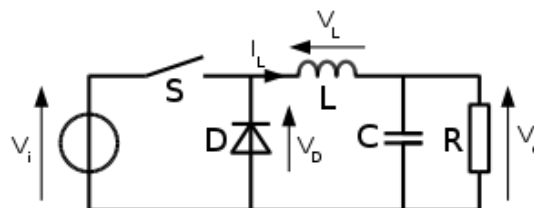


Ilustración 10: Ejemplo convertidor Buck. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Buck

2.2.3.3. Estabilizadores

Se podría decir que los estabilizadores de tensión son parecidos a los convertidores en cuanto a su función se refiere. Estos aparatos reciben un rango de tensión en su entrada y proporcionan en su salida un valor fijo de tensión con un tanto por ciento de margen. Podría recibir en su entrada, por ejemplo, un rango de entre 3 y 7 voltios y proporcionar en su salida un valor de 5 voltios con un margen del 5%.

El principal objetivo de estos componentes es absorber posibles picos de tensión para proteger los aparatos que estén conectados a continuación. También se encargan de eliminar interferencias y ruidos eléctricos.

Por lo que a su estructura respecta, los estabilizadores están formados por un transformador y una serie de derivaciones. Estas derivaciones están gobernadas por una llave selectora que cerrará una u otra rama en función del valor de entrada y salida que se necesite. Esta comparación entre ambos valores la realiza un circuito de control electrónico como se puede observar en la siguiente imagen:

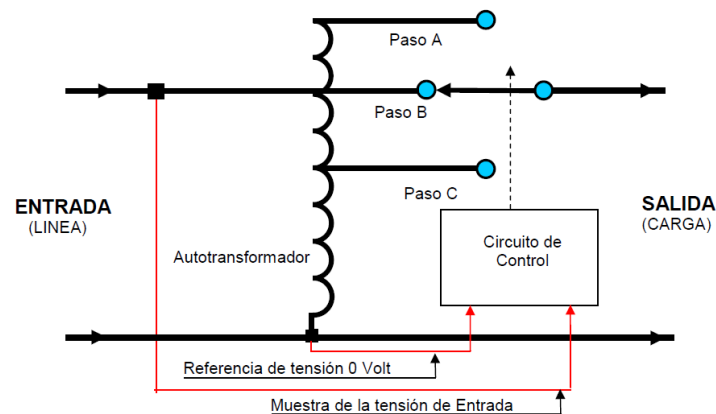


Ilustración 11: Esquema estabilizador. Fuente: http://www.energitsa.com.ar/cursos/Capitulo_07.pdf

2.2.3.4. Puntos de consumo

Después de que la energía eléctrica haya sido transformada a un valor de tensión óptimo ya está preparada para alimentar cualquier sistema electrónico. Para el caso de este trabajo se podrían dar dos casos: alimentar una batería o alimentación directa de dispositivos.

El primer caso hace referencia a almacenar poco a poco electricidad en una batería para poderla utilizar posteriormente. Las ventajas de esta alternativa es que se puede disponer de cierta potencia durante un periodo de tiempo más largo y en el momento en que sea necesario. Una buena aplicación de esto sería alimentar los puertos usb que llevan los turismos modernos sobre todo cuando se utilizan para cargar un teléfono móvil.

También se podría utilizar para los elementos que se mantienen en funcionamiento unos minutos cuando el motor está apagado como puede ser el ventilador de la refrigeración, la bomba de agua, la centralita que procesa sus últimos datos o las luces interiores del turismo. La desventaja de esta alternativa es el peso añadido a parte del espacio que se necesita para instalar la batería.

La segunda posibilidad consiste en alimentar de forma directa el dispositivo que se desee como podría ser un sensor. La ventaja principal de este sistema sería la sencillez de la instalación ya que solo se necesitaría una conexión entre el convertidor, que serviría uno de tamaño reducido, y ese sensor. La desventaja principal es que si ocurriese algún problema en las células como por ejemplo, que no se crease una diferencia de temperaturas mínima, el sensor dejaría de funcionar y podría causar problemas en el funcionamiento del turismo. Por esta razón, el dispositivo escogido no debería tener una función esencial dentro del funcionamiento del sistema.

2.3. Decisión sobre la solución

Después de este estudio del arte hay que realizar una decisión sobre el esquema aproximado que va a tener la instalación. En primer lugar, hay que decidir qué tipo de células utilizar. Estas células deberán ser del tipo Seebeck ya que lo que se necesita en este proyecto es generar tensión. Por lo tanto, habrá que buscar en el mercado módulos TEG (thermoelectric generator) y en función de sus características decidir la cantidad que se necesita.

En cuanto a su localización, estas se pondrán en el lado interior del radiador, es decir, de cara al ventilador. Con esta disposición, la cara caliente de las células estará en contacto con el radiador y la cara fría estará refrigerada por el efecto del ventilador, manteniendo así una diferencia de temperatura óptima que se detallará más adelante.

Además, la superficie plana del radiador facilitará la geometría del dispositivo de células. La temperatura de trabajo en esta disposición será de unos 80° en la parte caliente y de unos 20° por su parte fría.

Respecto a la parte eléctrica/electrónica como ya se ha comentado el cableado entre las células será mixto para poder generar tanto un valor de tensión como de intensidad adecuado para poder alimentar un dispositivo. A continuación se deberá poner un estabilizador para controlar las fluctuaciones de corriente que se puedan obtener.

Por último, en cuanto al consumidor final de esta energía eléctrica se van a plantear únicamente la opción de la batería ya que es la más útil.

Para el desarrollo de la solución comentada se tomará como ejemplo un Peugeot 208 aunque se podría utilizar en cualquier turismo.

2.4 Diseño instalación

En este apartado se va a realizar el diseño de la instalación que tendría que acompañar a los módulos termoelectrónicos para poder aprovechar la energía que producen. La base teórica de los elementos que forman esta instalación es la explicada anteriormente por lo que lo que se va a hacer a continuación es definir como se relacionan entre ellos y contextualizarlo todo con productos que se encuentran en el mercado.

Puesto que este trabajo se trata de un estudio, es importante comentar que la instalación que se va a diseñar a continuación es simplemente una referencia para poder explicar de qué manera se podría aplicar la termoelectricidad en un automóvil y que precio aproximado tendría tal aplicación. Si realmente se quisiera realizar un proyecto basado en este estudio habría que realizar algunos documentos más de los en este trabajo especificados. Este punto se comenta al final en el apartado planificación trabajo futuro.

2.4.1. Definición componentes termoeléctricos

El primer para poder realizar el diseño de la geometría que hay que acoplar será concretar el radiador exacto que se utilizará así como los módulos termoeléctricos.

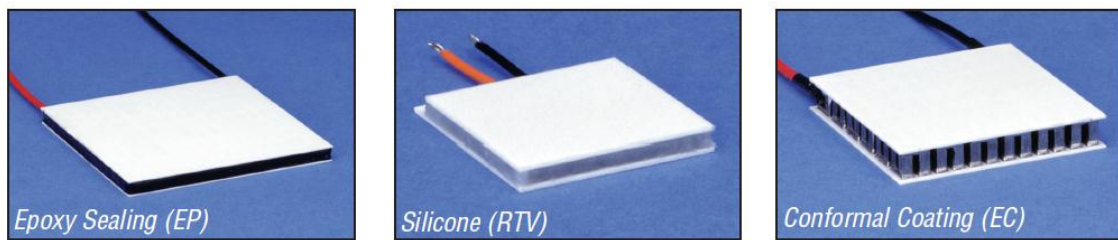
En el mercado existen varias marcas que fabrican radiadores de refrigeración para el modelo de coche en cuestión como es el caso de Nissens o Valeo aunque este estudio se centrará en uno de los productos de esta segunda compañía. En concreto se trata del radiador para refrigeración del motor modelo 732930.

Las especificaciones técnicas de esta referencia se pueden encontrar en el anexo Radiador Valeo. Se ha escogido esta referencia en base a las especificaciones del turismo escogido que quedan reflejadas en la tabla 2 de este mismo anexo.

Una vez definido el radiador donde se instalará el sistema de recuperación hay que concretar que módulo termoeléctrico será el más eficaz para este sistema. Existen varias compañías que se dedican a este sector y algunas de ellas ofrecen productos de altas prestaciones. Para la instalación en cuestión de este estudio se necesitaría un módulo generador de potencia termoeléctrico (TEG) que pueda trabajar a temperaturas de alrededor de los 80° en su cara caliente.

La gran mayoría de empresas que comercializan este producto ofrecen módulos que soportan temperaturas de hasta 250° en su cara caliente y 175° en su cara fría. Hay que recordar que estos módulos no dejan de ser un dispositivo eléctrico por lo que la mayoría tienen un recubrimiento para protegerlos de la humedad. Estos recubrimientos pueden ser de tres tipos: el primero es resina epoxy. Esta espuma sintáctica permite realizar una encapsulación electrónica sellando así el perímetro y dejando el módulo completamente uni-celular. Además, este producto presenta un bajo coeficiente de expansión térmica por lo que puede resistir altas temperaturas.

El segundo material utilizado es silicona rtv el cual retiene sus propiedades elastoméricas en un amplio rango de temperaturas. Permite realizar un sellado perimetral con excelentes propiedades eléctricas y sin corroerse. Por último, el tercer tipo de revestimiento es el de conformado con una fina lamina polimérica. Es el elemento más utilizado para proteger circuitos integrados ya que se trata de un material transparente.



Il·lustració 12: Recubrimientos contra humedad. Fuente: Melcor thermal solutions

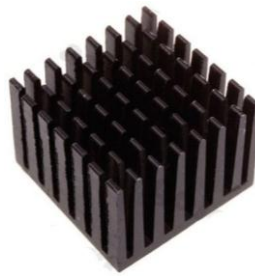
La empresa European Thermodynamics Ltd puede proporcionar unos módulos que cumplan con estas características. En el anexo módulo TEG para diseño se pueden observar los diferentes productos de los que disponen junto con sus especificaciones básicas. La célula GM200-127-10-15 es la que más voltaje proporciona en función de la diferencia de temperatura y tiene un tamaño de 30x30mm por lo que sería ideal para este caso. En el mismo anexo comentado se puede encontrar el Datasheet de este módulo en concreto. La cantidad de células a utilizar se especificará más adelante ya que dependerá de la potencia que se necesite suministrar.

2.4.2. Estudio termodinámico

Como se ha comentado, las células no trabajan por la temperatura que se alcance en su cara caliente sino por la diferencia que se crea entre ambas. Por esta razón, reducir la temperatura de la cara fría supondría generar más potencia.

Para llevar a cabo esta acción hay diferentes posibilidades. Una de ellas sería refrigerar la cara fría mediante un ventilador produciendo así una convección forzada que retiraría el calor. Otra opción que se utiliza en la industria es poner un intercambiador de calor, es decir, se hacen pasar unos tubos, cerca de esta cara, por donde circula agua fría. De esta forma, el agua absorbe el calor que se produce en esta cara produciéndose así una refrigeración.

Una tercera forma y la que es de más relevancia para este estudio es la utilización de disipadores de calor. Este dispositivo está formado por una gran cantidad de aletas que lo que producen es una transferencia del calor al aire. Por ello, se colocan varias aletas para aumentar la superficie de contacto entre el material conductor y el aire. Los disipadores están hechos de materiales con un buen coeficiente de conducción térmica. A continuación se muestra un disipador de calor de aluminio:



Il·lustració 13: Disipador de calor. Fuente: <http://listado.mercadolibre.com.mx/disipador-de-calor-de-aluminio-40-x-40-mm>

Al tractar-se de un material conductor, si se expone de forma continuada a altas temperatures este dispositiu acabarà calentant-se i aproximant la seva temperatura a la cara de la cèl·lula amb la que està en contacte. Això és un gran inconvenient ja que produirà que la diferència de temperatura entre les cares dels mòduls es redueixi i per tant aquests produiràn menys corrent. Per aquest motiu, se ha decidit col·locar aquests elements a la cara del radiador que enfoca al ventilador del motor ja que per convecció es retira molta més calor del disipador i aquest es calenta en menor grau.

En el mercat es pot trobar una gran varietat de disipadors en mida i forma per la qual hi ha una àmplia gamma on escollir. Per aquest estudi es escollirà el disipador BGA-STD-085 de la companyia ABL heatsinks ja que tenen una mida de 30.7x30.7mm per la qual encaja amb les dimensions de les cèl·lules escollides. En l'anexo disipador de calor per a disseny es poden veure les especificacions tècniques d'aquest producte. En l'apartat de disseny final es faran els càlculs tèrmics corresponents per poder obtenir la diferència de temperatura que hi haurà a les cèl·lules si es col·loquen aquests disipadors.

També és important comentar que en el cas de que existís algun mínim buit entre cèl·lula i cèl·lula hauria de col·locar aïllant tèrmic per que el flux calorífic passés únicament a través de les cèl·lules. Un bon material que es podria utilitzar és l'aerogel el qual pot suportar altes temperatures i és hidròfob encara que això tampoc no serà un gran problema en el cas aquí definit ja que com es tracta d'una superfície plana, els mòduls estaran col·locats de tal manera que no existirà espai entre ells.

2.4.3. Diseño geometría

Con los elementos principales definidos ya se puede hacer un diseño aproximado de la geometría que se acoplará al radiador. En primer lugar comentar que la estructura que envuelve el intercambiador de calor del radiador es una rejilla. Con esto se consigue que el aire que mueve el ventilador llegue directamente a los tubos, mejorando así la refrigeración. En la siguiente ilustración se muestra esta estructura:

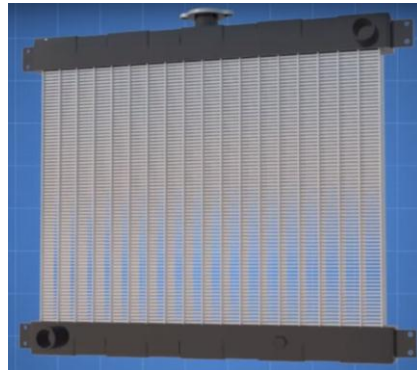


Ilustración 14: Estructura exterior radiador. Fuente: http://www.mister-auto.es/es/radiador/valeo-732930_q470_a021732930.html

Para poder transferir al máximo el calor a través de las células es importante que toda la cara caliente esté en contacto con el foco de calor por eso esta estructura no sería la más adecuada. Para solucionar este problema, habría que sustituir la rejilla de la cara a utilizar por una lámina fina de algún material conductor como por ejemplo aluminio. Con esto se conseguiría una temperatura uniforme en todas las células y además se trataría de un elemento que no aportaría peso extra.

Esta lámina no ocuparía toda la cara ya que en caso contrario podría haber problemas con la refrigeración ya que el aire no llegaría a los tubos. Por este motivo, se sustituirá únicamente la rejilla en la zona que coincide con la entrada del fluido ya que será la zona donde el flujo de calor sea más elevado. Además, esta lámina tendrá las dimensiones justas para que quepan las células ya que todo el espacio de más causará sólo problemas.

Las dimensiones exactas de la lámina se especificarán en el apartado de diseño final ya que dependerán del número de células utilizadas. Para colocarla en el radiador, habrá que cortar y extraer la superficie de rejilla en cuestión y soldar la nueva lámina. El tipo de soldadura, al tratarse de una soldadura de aluminio con aluminio, será TIG.

La soldadura TIG se caracteriza por emplear un electrodo de tungsteno acompañado de un gas que lo protege como argón o helio. La ventaja de esta soldadura es que los cordones de soldadura obtenidos son más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión. El cordón obtenido es de buen acabado superficial y puede mejorarse con sencillas operaciones de acabado aunque en este caso no será necesario. En cambio, sí que se tendrá que limpiar la superficie. Esta limpieza se puede llevar a cabo mediante una solución alcalina, un disolvente de hidrocarburo o con algún disolvente ya patentado.

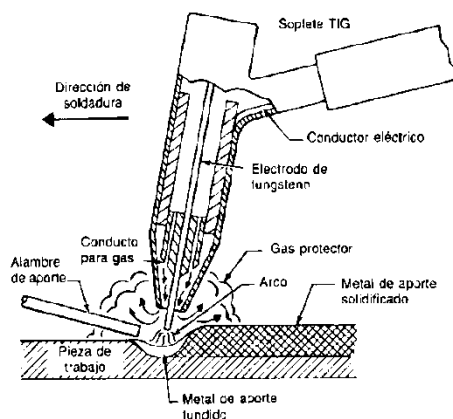


Ilustración 15: Soldadura TIG. Fuente: <http://carlossaiz.blogspot.com.es/2013/03/uniones-soldadas-clasificacion-smaw-y.html>

Una vez instalada esta lámina habrá que buscar un elemento de cohesión entre esta y las células que a su vez sea buen transmisor térmico. En el mercado podemos encontrar distintos tipos de silicona que pueden hacer esta función y soportar temperaturas de hasta 200°C. Para este estudio se escogerá la pasta térmica adhesiva GD9980 que funciona a la vez como adhesivo y silicona térmica. En el anexo [pasta térmica para diseño](#) se puede ver sus especificaciones. Con esta silicona se podrán unir los disipadores a las células y estas a la lámina ayudando además a una mejor transferencia del calor.

El problema de este diseño es que la lámina al estar soldada no sería extraíble y por lo tanto dificultaría el mantenimiento de las células. Para mejorar este hecho, se podría realizar la lámina como una carcasa en forma de U de tal forma que encajara por la parte superior del radiador. Este diseño, sin embargo, empeoraría la transmisión de calor ya que la lámina no estaría en contacto con el serpentín del radiador sino que lo estaría con las aletas.

2.4.4. Diseño circuitos eléctricos

La última parte del diseño antes de llegar al punto de consumo serán los circuitos eléctricos/electrónicos que se encargarán de conducir la corriente. El punto de inicio de estos circuitos es la salida de las células. Estas deberán estar conectadas de forma mixta, es decir, haciendo una conexión en serie de varios paralelos. Con esto se conseguirá que tanto el voltaje como la intensidad sean las idóneas para alimentar la batería. Sin embargo, la definición exacta de estas conexiones se hará en el apartado de diseño final puesto que se necesita saber cuántas células serán necesarias y que corriente genera cada una.

Un último detalle a comentar sobre estas conexiones es que para prevenir posibles problemas se acortarán los cables de salida de las células puesto que estos miden 30cm y pueden interferir con otros elementos del vehículo. Los cables se acortarán y se soldarán dejando únicamente los dos cables correspondientes a ambas polaridades. Además, se tendrán que colocar de tal forma que no estén en contacto con elementos que se encuentren a altas temperaturas.

A continuación del cable de corriente positivo se conectará un convertidor buck-boost. Este dispositivo regulará la tensión de tal forma que nunca se superen unos valores, salvaguardando así la batería de posibles picos que podrían quemar-la. Además, permitirá que el sistema proporcione siempre una salida de 12V que es la tensión necesaria para cargar la batería.

En el mercado hay una amplia gama de convertidores pero hay varios puntos que van a influir en la selección. En primer lugar, como ya se ha comentado, habrá que buscar uno que tenga como salida una tensión de 12V puesto que la batería funcionará a este régimen. En segundo lugar, el convertidor seleccionado deberá proporcionar una intensidad tal que sea una décima parte de la carga total de la batería seleccionada, es decir, que como la batería seleccionada tiene una carga de 7Ah (véase su selección en el apartado siguiente) el convertidor deberá proporcionar unos 700mA para el buen funcionamiento del sistema.

Un detalle esencial a tener en cuenta es que los módulos TEG seleccionados proporcionan una intensidad de unos 200mA, por lo que habría que hacer un conexionado en serie de paralelos formados como mínimo por dos células.

Puesto que es conveniente optimizar el espacio que ocupa este sistema en radiador, se utilizarán 24 módulos conectados en paralelos de dos (la disposición de estos se comentará en el apartado de diseño final).

El convertidor recibirá, por lo tanto, un valor de 400mA y una tensión bastante por encima de los 12V. Este hecho es importante ya que para que en su salida haya los valores comentados, el convertidor necesitará un voltaje de entrada superior a los 12V puesto que transformará voltaje en intensidad para poder subir de 400mA a 700mA. A continuación se va a proceder a la selección del convertidor.

La empresa Traco Power distribuye un convertidor que encajaría con estas características puesto que proporciona una salida de 12V y 830mA (el resto de características se pueden encontrar en el apartado convertidor del anexo1).

2.4.5. Consumidor

Como ya se ha comentado en este trabajo el objetivo final de esta instalación es alimentar componentes electrónicos del vehículo. Esta acción se puede llevar a cabo de dos maneras. La primera alimentando una batería que después alimentará algún circuito electrónico y la segunda es alimentar de forma directa algún componente en concreto. La diferencia entre las dos opciones es la potencia que se proporciona siendo en la primera de mayor valor. Por esta razón, se comentará sólo la primera opción.

Existen muchos tipos de batería en la actualidad por lo que habrá que hacer un estudio de las ventajas y desventajas de cada una y escoger la que concuerde mejor con este trabajo. Hay cuatro tipos básicos a estudiar que son las baterías AGM, las de gel, las de litio y las de plomo ácido.

- **Baterías Plomo-ácido:** Se trata de un elemento muy común en los coches convencionales como batería de arranque o como batería de tracción en los coches eléctricos. Cada celda de este dispositivo dispone de una tensión de 2 voltios y suministra elevadas corrientes.

La batería está formada por un depósito de ácido sulfúrico y dentro de él se encuentran unas placas de plomo dispuestas de tal manera que su polaridad quede de forma alternada. Las placas positivas están recubiertas o impregnadas de dióxido de plomo (PbO_2), y las negativas están formadas por plomo esponjoso. Además, siempre se dispone de una placa negativa adicional para evitar problemas. Según el número de placas que se dispongan la corriente será mayor o menor.

El proceso en el que se basa esta batería es la dismutación. Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo (II) es reducido a plomo metal en las placas negativas, mientras que en las positivas se forma óxido de plomo (IV) (PbO_2) y durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo (IV) es reducido a sulfato de plomo (II) mientras que el plomo elemental es oxidado para dar igualmente sulfato de plomo (II).

Una desventaja de este tipo de batería es que se desprenden pequeños fragmentos de material por lo que debajo de las placas se deja un espacio para que se puedan depositar sin peligro. Otra desventaja es que este proceso no se puede repetir de forma indefinida ya que llega un punto en que se pierde la característica de reversibilidad debido a la formación de cristales de sulfato de plomo demasiado grandes.

- **Baterías AGM:** Son una evolución de las anteriores basándose en la mejora del rendimiento. En este tipo de baterías el ácido se absorbe mejor y más rápido por parte de las placas de plomo. Las principales diferencias en cuanto a componentes es que estas disponen de una delgada manta de fibra de vidrio que inmoviliza el ácido entre las placas.

Una desventaja de este tipo es que una vez se han producido descargas completas durante un número de ciclos estas pierden parte de su capacidad, impidiendo así que se cargue al 100%. En cambio, ofrecen picos de arranque superior a las convencionales por lo que su uso en aplicaciones donde se necesite una potencia inicial elevada está muy extendido. Este tipo de baterías soporta muy bien los golpes y vibraciones.

- **Baterías de gel:** En las baterías de gel el electrolito no es líquido sino que está gelificado. Con esto se consigue que haya menos evaporación y por lo tanto aumenta la vida útil. Una gran ventaja de este tipo es que pueden soportar descargas completas sin reducir su capacidad. Además, soportan vibraciones, golpes y altas temperaturas y tienen un valor estable de voltaje durante su descarga.

La principal desventaja es que son muy sensibles a las sobrecargas por lo que se ha de retirar el cargador tan pronto como llegue al 100%. Una segunda desventaja que presentan es que proporcionan menos energía instantánea que las de otro tipo aunque estas la proporcionan a más largo plazo.

- **Baterías de litio:** La principal diferencia de estas baterías es que utilizan como electrolito sal de litio, el cuál proporciona los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar en ella. Las principales ventajas de este tipo son su ligereza, su elevada capacidad energética, la resistencia a la descarga y su alto rendimiento. Sin embargo, su rápida degradación y sensibilidad a las elevadas temperaturas, que pueden resultar en su destrucción por inflamación o incluso explosión, requieren, en su configuración como producto de consumo, la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad.

Después de ver los diferentes tipos de baterías que existen se puede concluir que la mejor opción para la instalación será una batería AGM. Se ha hecho esta elección por diferentes motivos como su resistencia a vibraciones puesto que en un vehículo es muy propenso a sufrirlas. Además, se ha escogido el tipo AGM por encima de las de gel ya que las segundas no soportan bien las sobrecargas y se ha de retirar el cargador una vez llegue al 100% y esto en este estudio es muy difícil. Las de litio han quedado totalmente descartadas puesto que no soportan bien las altas temperaturas.

En el mercado se puede encontrar una amplia gama de baterías AGM con diferentes valores de tensión y cargas eléctricas. Puesto que las células no dan grandes valores se escogerá una batería de poca capacidad. La marca Ritar ofrece una batería de pocas dimensiones que podría encajar a la perfección. En el anexo batería se puede encontrar su ficha técnica.

En cuanto a la localización exacta de esta en el automóvil, a pesar de que puede soportar altas temperaturas, sería mejor que estuviese apartada del bloque motor. Por lo tanto, un buen sitio para su localización y de fácil acceso sería en la parte trasera como podría ser en el maletero. Este hecho producirá que haya que poner más cableado pero así nos aseguramos que su capacidad no se verá reducida por el efecto constante de la temperatura además de que se dispone de más espacio en la localización comentada.

Es importante comentar que se ha decidido utilizar una batería adicional en lugar de la ya disponible en el automóvil puesto que la utilización de esta complicaría los circuitos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, a continuación se mostrará el circuito eléctrico/electrónico que sería necesario en caso de que se quisiese traspasar la energía de esta batería adicional a la del automóvil.

En primer lugar se va a mostrar el circuito existente entre el alternador y la batería del coche:

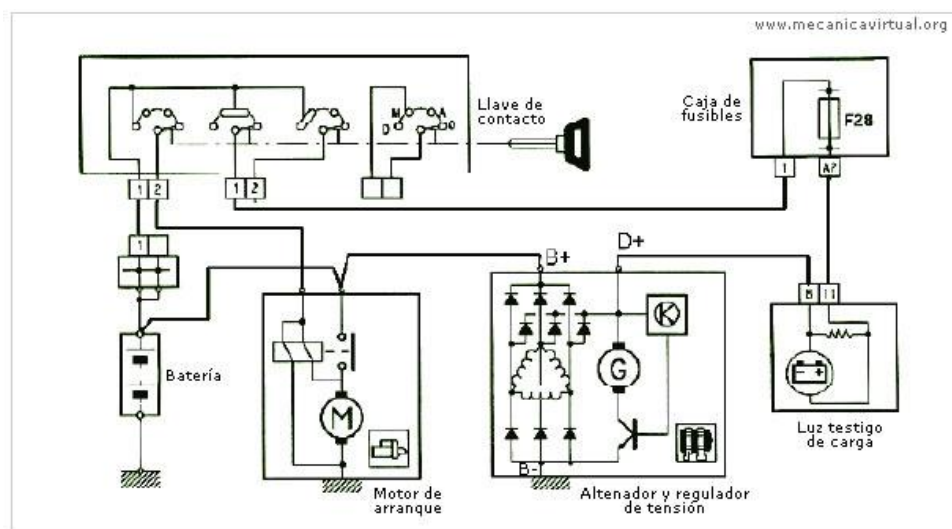


Ilustración 16: Circuito eléctrico/electrónico del automóvil. Fuente:
<http://www.aficionadosalamecanica.net/alternador-compr.htm>

En esta ilustración se puede observar el circuito de alimentación de la batería a partir del alternador así como la unión con la resta de elementos que ayudan al funcionamiento del sistema. En este apartado nos vamos a centrar solamente en el conjunto alternador batería por lo que a continuación se muestra con más detalle dicho esquema:

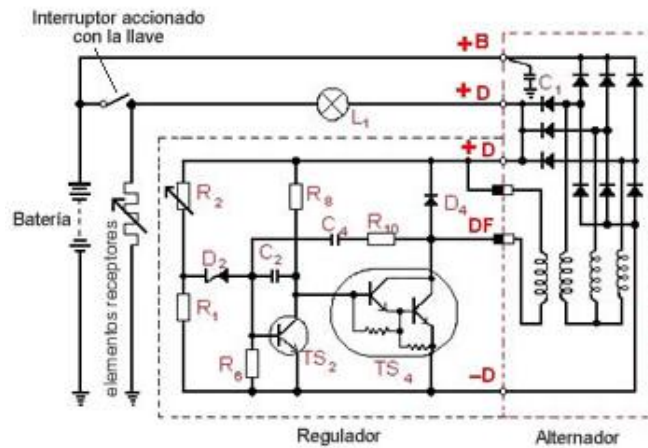


Ilustración 17: Conjunto alternador-batería. Fuente:
http://www.aficionadosalamecanica.net/curso_alternador.htm

Se puede observar como la conexión de la batería con el alternador está realizada mediante unos diodos. Esto permite que la corriente solo pase del alternador a la batería ya que en caso contrario el primero se quemaría. Si se quisiera realizar un circuito de volcado entre las dos baterías habría que realizar algo parecido utilizando diodos ya que habría que impedir el paso de la corriente hacia el alternador y permitir sólo el paso de la batería adicional a la principal. El esquema en cuestión quedaría de la siguiente forma:

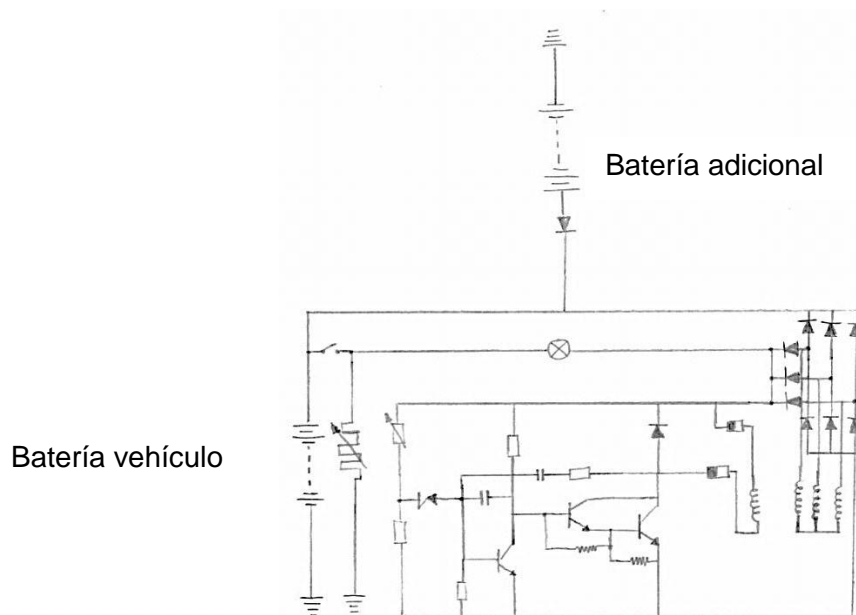


Ilustración 18: Circuito con batería adicional. Fuente: Elaboración propia

2.4.6. Diseño final

En este apartado se va a realizar un resumen de como ha quedado definida la instalación y se va a proceder a comentar los cálculos que derivan de su uso.

En primer lugar sea definido un radiador de automóvil concreto a partir del cual se va a desarrollar toda la instalación. Este elemento es de referencia puesto que se podría implantar en cualquier radiador de vehículo. A continuación se soldará una placa de aluminio mediante soldadura TIG de superficie 330x130x0.5mm y se situará en la esquina superior izquierda ya que coincide con el orificio de entrada del líquido refrigerante y por lo tanto es la zona de más temperatura.

A esta placa se le pondrá la pasta térmica comentada para poder adherir los 24 módulos termoelectricos. Estos estarán conectados de forma mixta, es decir, se conectarán bloques de dos módulos en paralelo y a continuación se conectarán los doce bloques en serie poniendo siempre su cara caliente (cara sin código) en contacto con esta pasta térmica. El voltaje conseguido con estos módulos se desglosa más adelante. A continuación se muestra una imagen de este conexionado:

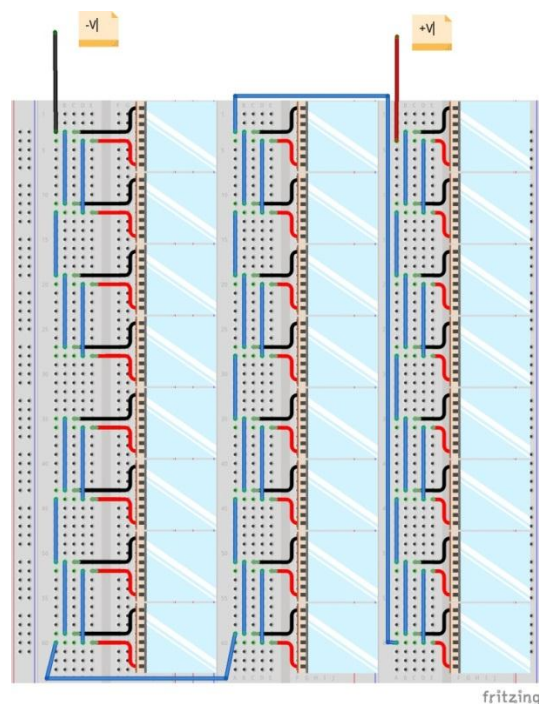
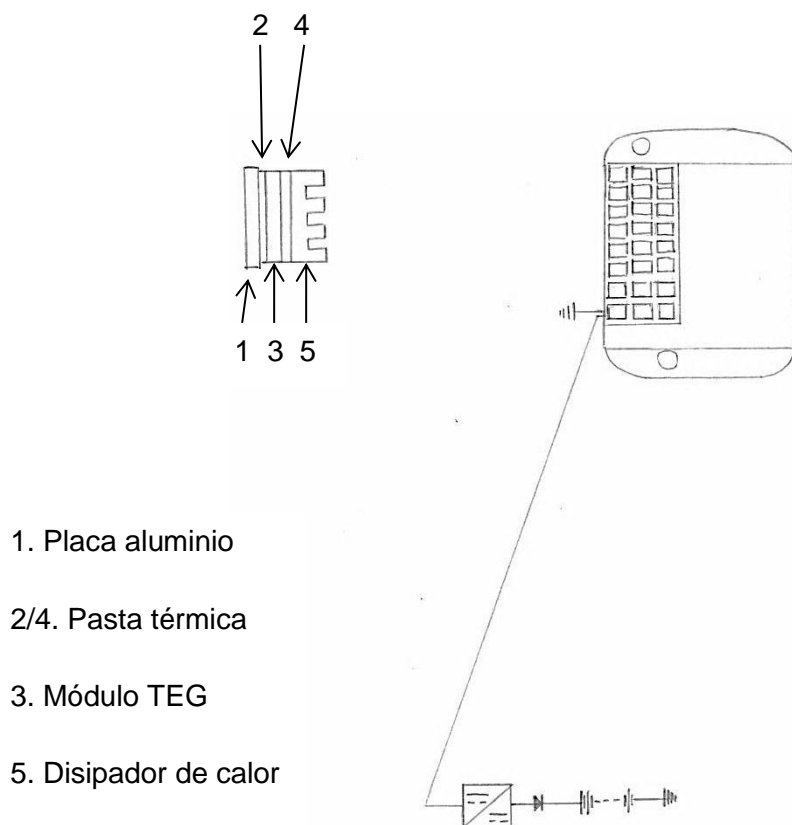


Ilustración 19: Conexionado módulos TEG. Fuente: Elaboración propia

En la parte superior de estos módulos se vuelve a poner pasta térmica para poder colocar los disipadores de calor comentados. Con esto se conseguirá reducir, en la medida de lo posible, la temperatura de la cara fría aumentando así la potencia producida.

Respecto a la parte eléctrica de la instalación, se colocará un convertidor para adecuar la tensión al valor de 12 voltios y a continuación la batería adicional comentada. Además, se ha realizado un circuito adicional que uniría esta batería con la ya existente en el coche por si fuera necesario un transvase de energía. El esquema global de esta instalación se puede ver a continuación:



Il·lustración 20: Esquema global. Fuente: Elaboración propia

A continuació se va a proceder con los cálculos térmicos. El objetivo de estos cálculos es conseguir el valor de la temperatura a ambas caras del módulo TEG para así poder calcular la tensión que este sistema proporcionará. En primer lugar comentar que estos cálculos se harán por analogía a los circuitos eléctricos, es decir, se transformará el sistema que tenemos (aluminio + pasta térmica + TEG + pasta térmica + disipador de calor) en un circuito eléctrico.

Para realizar este circuito, se tomará la hipótesis de que la placa de aluminio forma parte del mismo radiador del coche por lo que se considera como un bloque que se encuentra a una cierta temperatura. A continuación, se muestra un esquema de como queda dicho circuito:

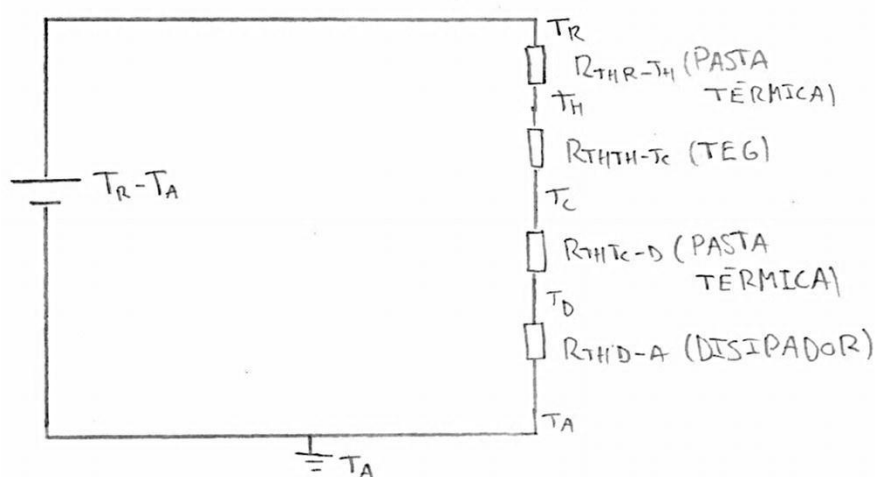


Ilustración 21: Circuito termoeléctrico. Fuente: Elaboración propia

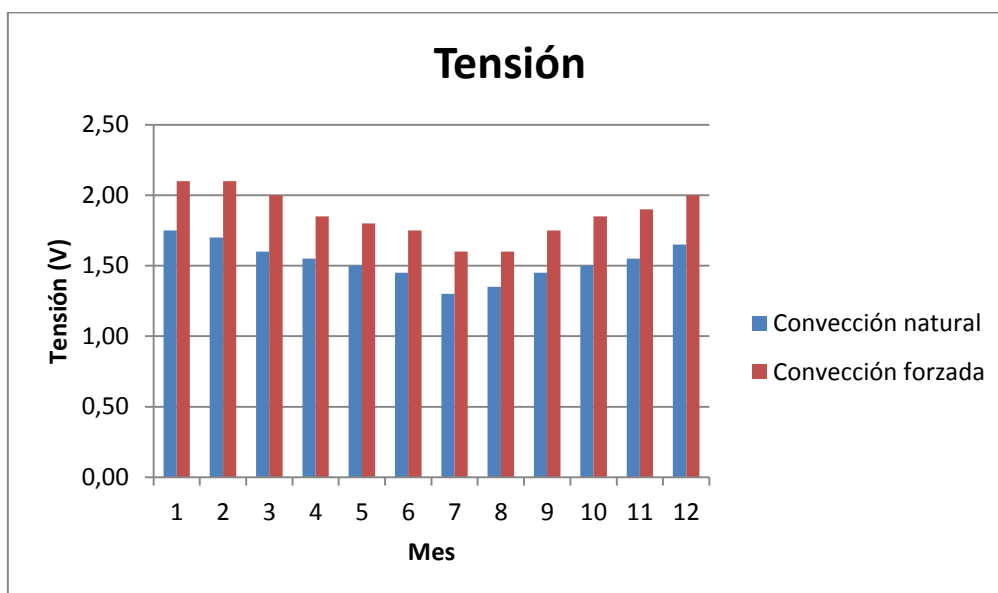
Los datos iniciales del sistema son los siguientes:

Datos		Unidades
TEG	Potencia de salida con carga (P_s)	2,72 W
	Resistencia con carga	6,3 Ω
	Tensión con circuito abierto	8,28 V
	Intensidad de salida con carga	0,66 A
	Tensión de salida con carga	4,14 V
	Flujo calorífico a través del módulo (W_e)	54,4 W
Disipador	Resistencia térmica con convección natural (R_{tn})	10 $\Delta^\circ\text{C/W}$
	Resistencia térmica con convección forzada (R_{tf})	5,2 $\Delta^\circ\text{C/W}$

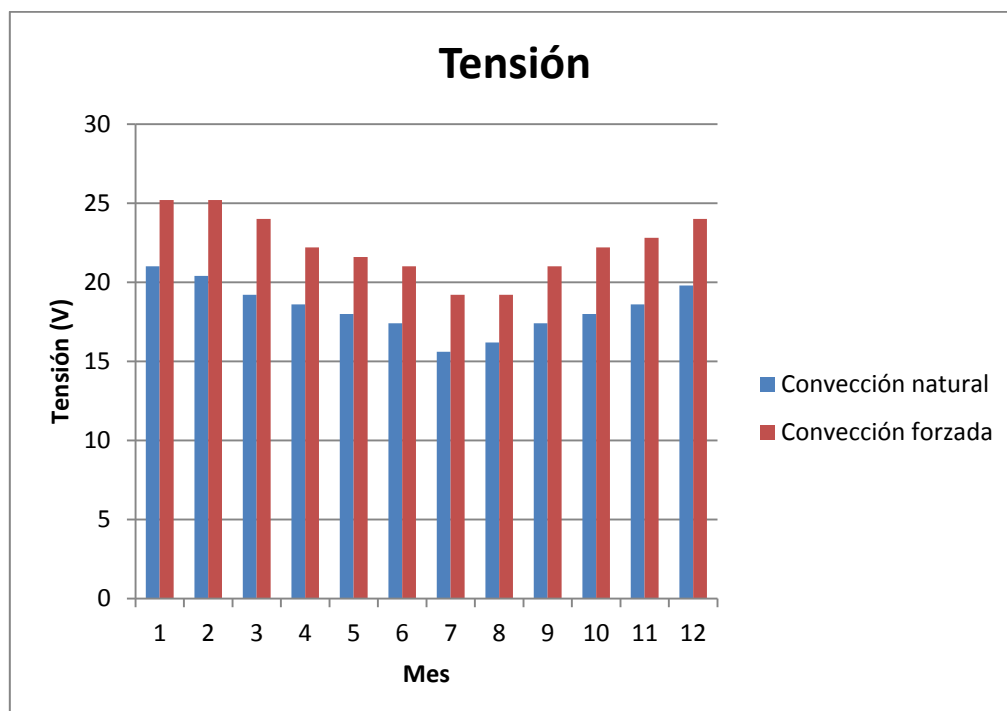
Aluminio	Conductividad térmica (λ)	209,3 W/m·ΔK
	Espesor (da)	0,5 mm
	Superficie (S) para 12 módulos aprox	21600 mm ²
Ta	Temperatura aluminio (Tr)	95 °C
	Enero	9,1 °C
	Febrero	9 °C
	Marzo	12,5 °C
	Abril	14,9 °C
	Mayo	18,7 °C
	Junio	23,2 °C
	Julio	26,8 °C
	Agosto	25 °C
	Septiembre	21,3 °C
	Octubre	17,7 °C
	Noviembre	13,9 °C
	Diciembre	11,6 °C
Pasta térmica	Conductividad térmica (λ)	0,7 W/m·ΔK
	Espesor (dp)	0,5 mm
	Resistencia termica (Rp)	0,005 Δ°C/W

Como se puede observar, se va a simular el sistema según dos variables: con la temperatura del aire exterior que será diferente según la época del año y con los dos tipos de convección (natural y forzada). A pesar de que el sistema va a trabajar con convección forzada proveniente del ventilador, será interesante comparar en qué medida afecta el tipo de convección.

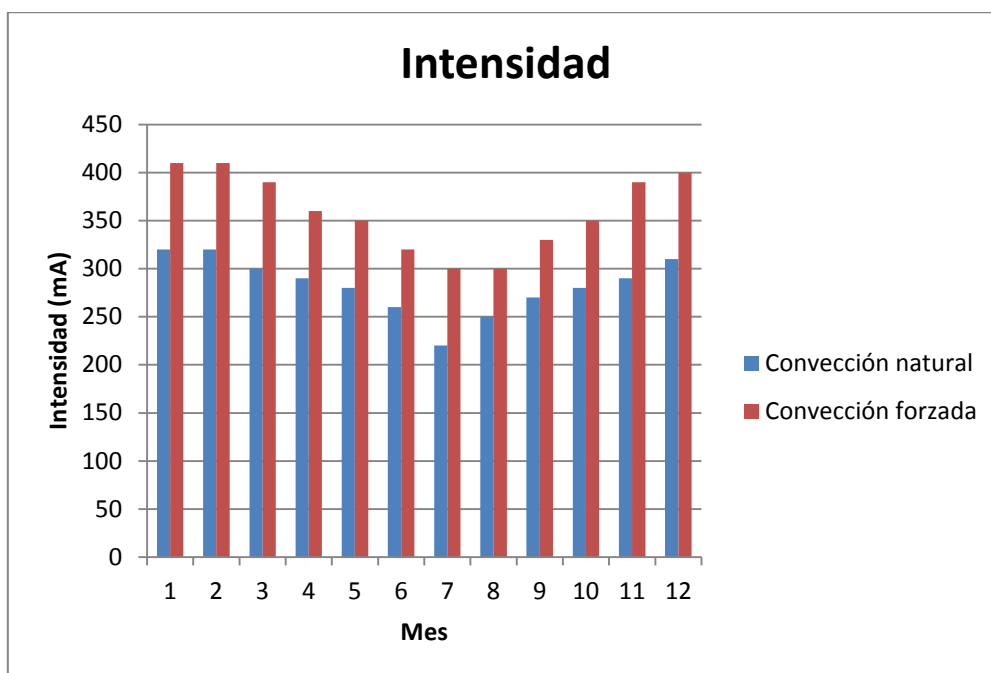
En el apartado cálculos del anexo 1 se pueden encontrar los cálculos realizados para llegar a los siguientes resultados:



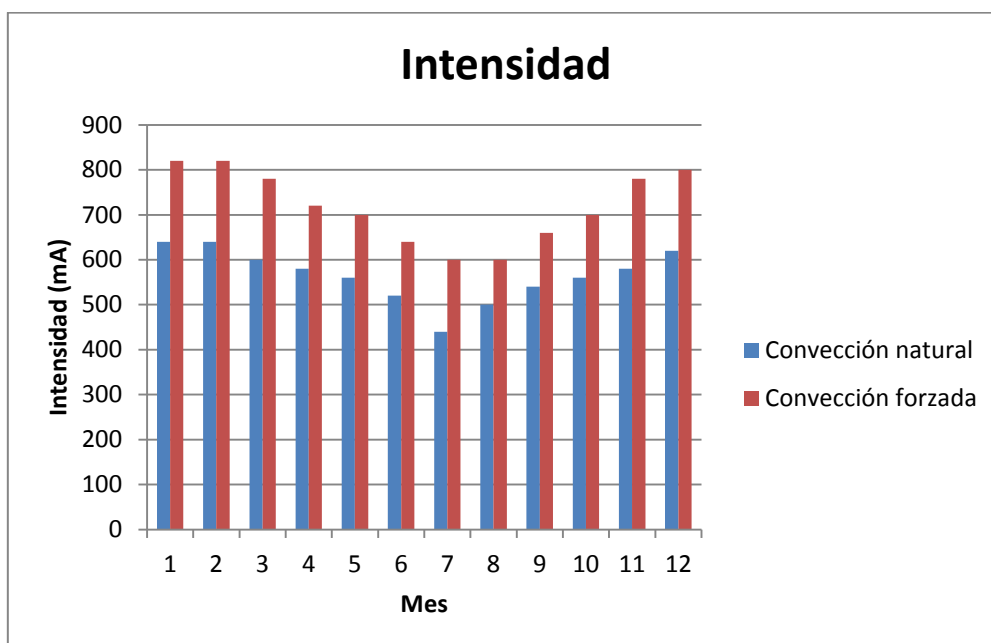
Gráfica 1: Tensión en función del mes para 1 TEG. Fuente: Elaboración propia



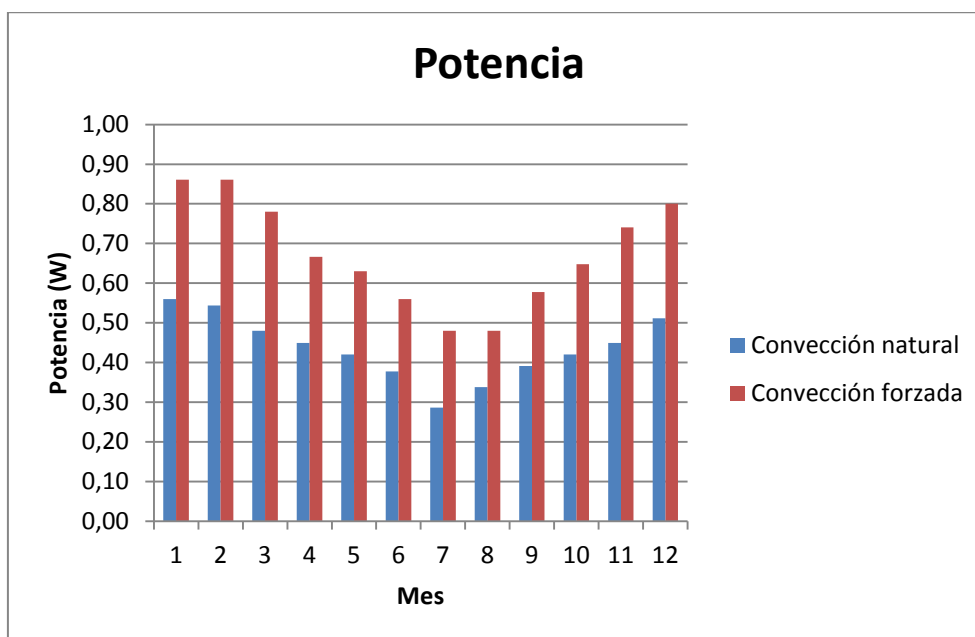
Gráfica 2: Tensión en función del mes para 24 TEG. Fuente: Elaboración propia



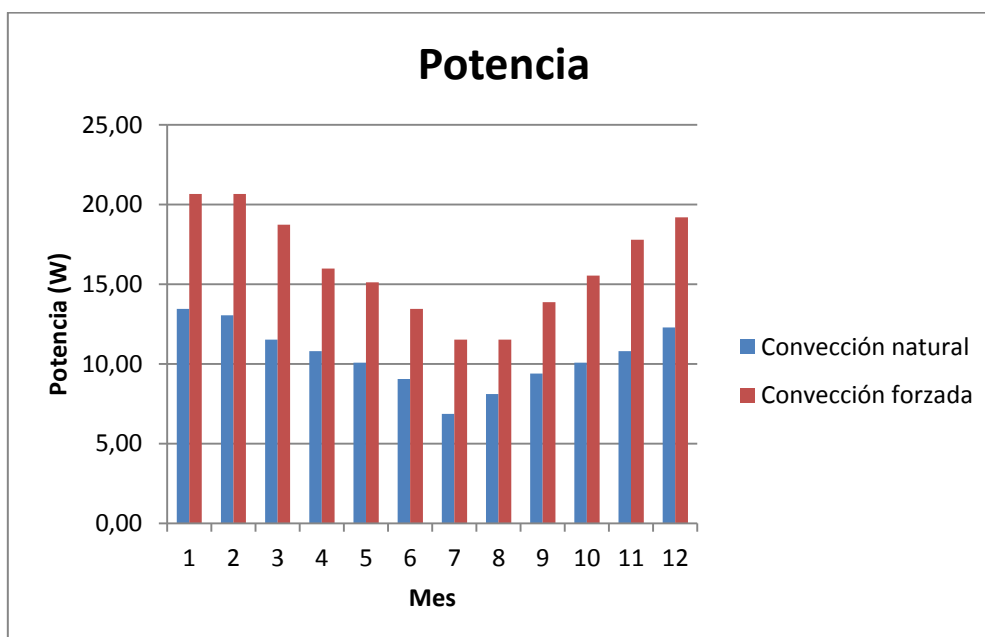
Gràfica 3: Intensidad en función del mes para 1 TEG. Fuente: Elaboración propia



Gràfica 4: Intensidad en función del mes para 24 TEG. Fuente: Elaboración propia



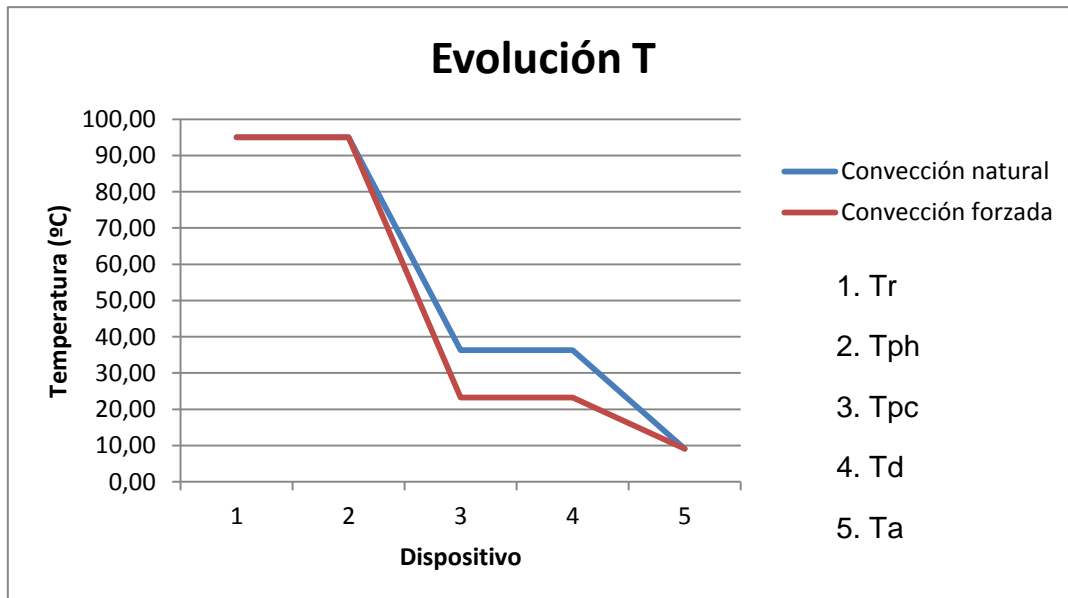
Gràfica 5: Potencia en función del mes para 1 TEG. Fuente: Elaboración propia



Gràfica 6: Potencia en función del mes para 24 TEG. Fuente: Elaboración propia

En los gráficos se puede observar una clara diferencia entre utilizar una u otra convección puesto que con la forzada se obtiene una mayor potencia. Esto es debido a que el aire forzado es capaz de retirar mucho más calor de las aletas del disipador.

También se puede ver la evolución de temperaturas a través del sistema. Para graficar esta evolución, se ha cogido el mes de enero como ejemplo:

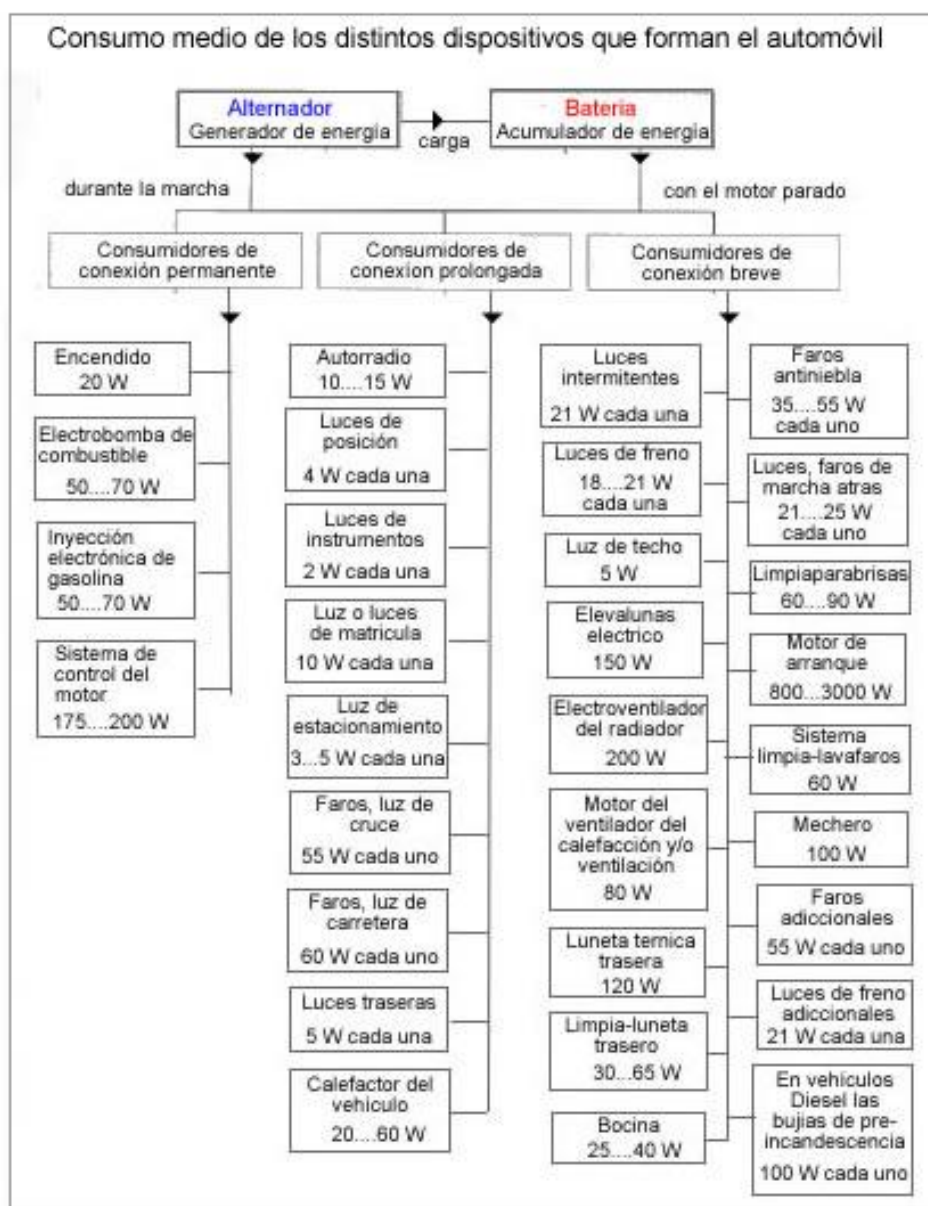


Gráfica 7: Evolución de la temperatura. Fuente: Elaboración propia

En el anterior gráfico se puede observar como en el módulo TEG es donde se produce una mayor caída de temperatura. Esto es debido a que este módulo transforma el calor que pasa a través suyo en potencia. También se puede comprobar como en la pasta térmica no se pierde calor ya que la temperatura se mantiene constante.

Por último sería interesante ver que ahorro de energía supondría en el alternador este sistema. En primer lugar, se va a calcular la energía producida por este durante un trayecto normal de un vehículo durante una hora.

A continuació se mostra el consum aproximat de cada element del automòbil:



Il·lustració 22: Consum elements automòbil. Fuente: Elaboración propia

Con estos valores se va a calcular la energía total:

Tabla 1: Energía alternador. Fuente: Elaboración propia

Elemento	Potencia (W)	Tiempo (h)	Energía (Wh)
Encendido	20	1,0	20,0
Electrobomba combustible	60	1,0	60,0
Inyección electrónica combustible	60	1,0	60,0
Sistema de control del motor	190	1,0	190,0
Autorradio	12	1,0	12,0
Luces de posición	8	1,0	8,0
Luces de instrumentos	4	1,0	4,0
Luces de matrícula	10	0,2	2,0
Luz de estacionamiento	8	0,1	0,8
Luces de cruce	110	0,1	11,0
Luz de carretera	120	0,0	0,0
Calefactor	40	0,2	8,0
Luces de intermitente	42	0,1	4,2
Faros antiniebla	90	0,0	0,0
Luces de freno	38	0,1	3,8
Luces marcha atrás	46	0,1	4,6
Luz de techo	5	0,0	0,0
Limpiaparabrisas	70	0,0	0,0
Elevavinas eléctrico	150	0,0	0,0
Motor de arranque	2000	0,003	6,0
Ventilador radiador	200	0,1	20,0
Ventilación/calefacción	80	0,2	16
Mechero	100	0,0	0,0
Limpia-luneta trasero	45	0,0	0,0
Bocina	30	0,0	0,0
Total			430,4

El total de energía necesaria por el alternador para un trayecto de una hora sin lluvia y con trazado urbano e interurbano es de 430,4Wh. La potencia que puede suministrar la batería escogida es de 84Wh cuando está a máxima carga, por lo que esto supondría una reducción del 19,5% de la energía que tiene que producir el alternador. Esto quiere decir, que la parte de combustible dedicada a dar potencia al alternador se verá reducida en un 20%.

Para ver aproximadamente que parte del combustible total se está ahorrando habrá que calcular cual es el consumo por vatio del alternador. Tras una búsqueda exhaustiva se ha encontrado que el aire acondicionado hace aumentar el consumo en un 6%. El aire acondicionado son unos 80Wh de potencia por lo que si el sistema termoeléctrico produce 84Wh estará ahorrando aproximadamente un 6% de combustible. Cogiendo por ejemplo un coche con un consumo de 6,2l a los 100km, con un consumo total de 21.700l a lo largo de su vida útil (350.000km) se tendría un ahorro de 1.300l.

2.4.7. Ejemplo aplicación instalación

Las aplicaciones de esta instalación son múltiples puesto que en un vehículo moderno hay mucha electrónica. Sin embargo, se tendría que buscar un circuito que no sea de vital importancia para el correcto funcionamiento del turismo ya que si las células fallan o no producen la suficiente energía podría producirse una alimentación insuficiente. Por este motivo, se van a comentar sólo dos dispositivos: el primero sería la iluminación interior del automóvil y la segunda el enchufe del mechero del coche.

Respecto a la primera lo que se puede conseguir es alimentar, por ejemplo, la pequeña luz de la que disponen la mayoría de automóviles que se sitúa en el techo entre el asiento del piloto y del copiloto. Se hace referencia a este elemento puesto que es una luz que no se suele tener activada sino que se utiliza en determinadas ocasiones cuando se necesita iluminación en el interior para buscar algún objeto, hecho que provoca que el porcentaje de descarga de la batería sea inferior al de carga. Por esto, esta luz podría separarse totalmente del circuito que la alimenta actualmente para abastecerse únicamente de esta batería supletoria.



Ilustración 23: Iluminación interior. Fuente: <http://smart-lighting.es/soluciones-led-osram-para-el-automovil-una-iluminacion-diferente/>

También se podrían alimentar otros elementos de iluminación interior como las luces que se colocan en el salpicadero de los coches modernos que son puramente decorativas. Si estos elementos se abastecieran únicamente de esta batería adicional, se reduciría el consumo del coche puesto que el alternador tendría que trabajar menos.

Respecto a la segunda opción, se trataría de abastecer el enchufe del mechero de coche, que se sitúa normalmente en la parte inferior del panel de control. Este enchufe es usado normalmente para cargar el móvil u otros dispositivos exteriores al automóvil. Como en el caso anterior, se trata de un elemento al que no se le da gran uso por lo que sería una aplicación perfecta.

Con una visión un poco futurista pero bastante cercana, lo que conseguiríamos alimentando este enchufe es abastecer un car-wifi. Se trata de un dispositivo 4G que proporciona acceso a Internet a todo el mundo que viaja en el coche con un límite de hasta 10 dispositivos conectados a la vez. Este elemento se está comercializando ya aunque todavía tiene un uso poco extendido. Con el uso de la instalación, se podría alimentar el car-wifi durante unas cuantas horas sin necesidad de hacer trabajar más al alternador por lo que no aumentaría el consumo del coche.



Ilustración 24: Car-Wifi. Fuente: <http://internetmovil.orange.es/tarifas/car-wi-fi/>

2.5. Legislación

En este apartado se va a hacer una búsqueda sobre la legislación aplicable a las reformas en vehículos para comprobar si esta instalación se podría realizar o no y bajo qué condiciones. Para ello se buscará en el BOE la legislación correspondiente que en este caso es el Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.

Este Decreto regula el procedimiento para la realización y tramitación de reformas efectuadas en vehículos después de su matriculación definitiva en España con el fin de garantizar que tras la reforma se siguen cumpliendo los requisitos técnicos exigidos para su circulación. En el anexo 1 se pueden encontrar las modificaciones que este decreto considera como reformas sustanciales del vehículo y que por lo tanto se han de someter a una inspección técnica. Estas reformas son las siguientes:

1. Identificación
2. Unidad motriz
3. Transmisión
4. Ejes
5. Suspensión
6. Dirección
7. Frenos
8. Carrocería
9. Dispositivos de alumbrado y señalización
10. Uniones entre vehículos tractores y sus remolques o semirremolques
11. Modificaciones de los datos que aparecen en la tarjeta de ITV

Como se puede observar, las únicas modificaciones eléctricas/electrónicas que son consideradas como reformas son las correspondientes a los dispositivos de señalización y alumbrado, por lo que la instalación comentada en este estudio quedaría exenta de inspecciones técnicas.

En caso de que se hubiese considerado como reforma, el titular del vehículo tendría que llevar el mismo a una inspección técnica (ITV) en un plazo máximo de quince días aportando la siguiente información:

- Proyecto técnico detallado de la reforma a efectuar y certificado final de obra en la que se indique que la misma se ha realizado según lo establecido en dicho proyecto.
- Informe de conformidad emitido por el servicio técnico de reforma.
- Certificado del taller en el que se efectuó la obra.

3. Viabilidad económica

En este apartado se va a desglosar el coste de la instalación en tres apartados: el equipamiento eléctrico/electrónico utilizado, el coste de la plancha de aluminio que se ha de colocar al radiador y el coste del cableado. Después, se comparará este coste con el dinero ahorrado en combustible por la instalación y se decidirá si es viable o no. A continuación se muestran las tres tablas con dicho coste:

Tabla 2: Coste directo equipamiento. Fuente: Elaboración propia

Equipamiento	Coste unitario (€/ud)	Cantidad (ud)	Coste total
Pasta térmica	2	14	28
Módulo TEG	22	24 (se aplica descuento)	443
Disipador de calor	1	24	24
Convertidor	33	1	33
Batería	21	1	21
Total			549

Tabla 3: Coste directo aluminio. Fuente: Elaboración propia

Material	Coste unitario (€/m ²)	Cantidad (m ²)	Coste total
Lámina Aluminio (grosor 0,7mm)	9.750	0,00429	42
Total			42

Tabla 4: Coste directo cableado. Fuente: Elaboración propia

Material	Coste unitario (€/m)	Cantidad (m)	Coste total
Cableado	0,2	5	1
Total			1

Por lo tanto, sumando los subtotales de los tres apartados obtenemos un total de 592€. Es importante comentar que la gran diferencia de precio entre los TEG de la instalación y los que se usarán en el prototipo repercute en su calidad. Es decir, en la instalación deberán colocarse módulos de alta calidad puesto que serán sometidos constantemente a temperaturas elevadas y de esta forma reducimos su posible mantenimiento.

En cuanto al ahorro, se ha visto anteriormente (apartado diseño final) que la instalación permite un ahorro de unos 1.300€ a lo largo de la vida útil del vehículo. Considerando el precio del combustible, independientemente de si es gasolina o gasoil, sobre el euro por litro, se obtiene un ahorro de 1.300€. Es importante comentar que este valor puede variar según el consumo del vehículo y la vida útil del vehículo por lo que es un valor orientativo.

Por lo tanto, si se calcula la diferencia entre la inversión y el ahorro se tienen unos 700€ de ahorro real. En este cálculo no se ha considerado el coste que supondría el trabajo de un operario para montar la instalación y otros factores como puede ser la electricidad utilizada o el coste del mantenimiento por lo que el ahorro final estaría muy por debajo de este valor comentado. Sin embargo se puede decir que la instalación es viable económicamente.

4. Prototipado

En esta parte del estudio se realizará un prototipo de la instalación diseñada para poder simular su funcionamiento. Con esto se podrá comprobar si los valores teóricos de potencia se asimilan a los reales además de poder ver in situ el funcionamiento de los módulos TEG.

Para poder realizar este prototipo se necesitará pensar en una geometría que pueda ser similar a un radiador. Además, tendrá que circular un fluido por su interior que este a una temperatura aproximada de 90°. En cuanto al resto de elementos será todo bastante parecido excepto el consumidor final. En este caso no habrá un consumidor sino que se medirá directamente el voltaje proporcionado mediante el dispositivo Pico, el cual permitirá graficar el voltaje en función de las temperaturas obtenidas en ciertos puntos del prototipo.

4.1. Módulo TEG

El primer elemento del prototipo a comentar es el módulo escogido ya que el resto dependerá de él. El módulo que se va a utilizar no es el mismo que el comentado en el diseño de la instalación ya que por facilidad de compra hay mejores opciones. Dicho esto, las células escogidas son las SP1848-27145 que se han comprado al por menor por ebay. Se han escogido estas ya que proporcionan un valor de tensión adecuado para la temperatura con la que se va a trabajar. Las especificaciones técnicas concretas se pueden encontrar en el apartado módulo TEG para prototipado del anexo 1. A continuación se muestra una fotografía de este elemento:



Ilustración 25: Módulo TEG. Fuente: Elaboración propia

Tras realizar un par de pruebas tanto con un módulo como con varios conectados en serie se ha determinado que la tensión aproximada que dan por unidad es de 0.7-0.8 voltios.

4.2. Disipador de calor y elemento de cohesión

El siguiente elemento a comentar es el disipador de calor. Como en el caso del módulo TEG, no se ha utilizado el mismo que el comentado en el diseño sino que se ha utilizado un disipador de aluminio vendido al por menor por Amazon. En el apartado disipador de calor para prototipo que se encuentra en el anexo 1 se pueden encontrar su referencia de compra así como sus dimensiones. A continuación se muestra una imagen del elemento comprado:



Ilustración 26: Disipador de calor. Fuente: Elaboración propia

Para unir los disipadores de calor con las células se tendrá que utilizar algún elemento de cohesión que a su vez sea un buen conductor térmico. En el apartado del diseño de la instalación se ha comentado de una pasta que cumplía muy bien estos requisitos pero para realizar este prototipo se ha optado más por una silicona en forma de lámina adhesiva que también puede cumplir estas condiciones. En el apartado pasta térmica para prototipo se pueden encontrar sus dimensiones y su referencia de compra.

4.3. Pico

Como se ha comentado se utilizará un dispositivo para tomar unas medidas de temperaturas y la tensión producida. Este dispositivo mide temperaturas mediante termopares. Un termopar es un transductor formado por la unión de dos metales diferentes. Este transductor genera una tensión de unos milivoltios que, como se ha visto en el efecto Seebeck, es función de una temperatura por lo que se puede obtener su valor.

El dispositivo en cuestión está diseñado por la empresa Pico Technologies y se trata de un producto para adquirir datos. Estos se transfieren fácilmente mediante un puerto USB y se pueden trabajar con el mismo software que viene incorporado. A continuación se muestra una imagen de este dispositivo:

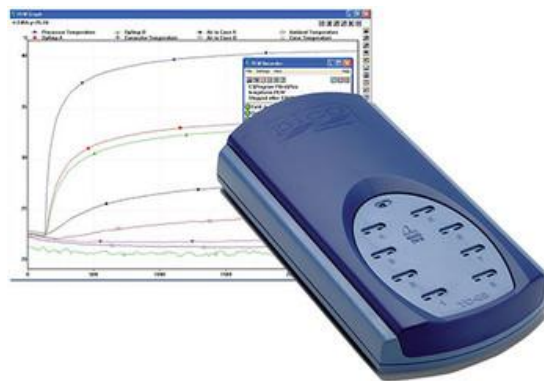


Ilustración 27: Data logger TC-08. Fuente: <https://www.picotech.com/data-logger/tc-08/thermocouple-data-logger>

4.4. Simulador radiador

Como ya se ha visto anteriormente, se han instalado los módulos termoelectricos en el radiador de la refrigeración del automóvil. Se trata de un elemento de superficie plana y hecho de aluminio por lo que habrá que construir una pieza de características similares. Además, como hemos visto cada módulo TEG utilizado proporciona un valor de tensión de 0.7-0.8V por lo que se colocaran 9 células para producir una tensión cercana a los 6 voltios.

Con este fin, se ha pensado en hacer un prisma de metal que tenga un espesor cercano al milímetro para que conduzca el calor con facilidad. El ancho de este prisma corresponde al ancho de un módulo, consiguiendo así que toda la superficie quede cubierta por células. En cuanto a la longitud, se ha hecho de unos 140 milímetros que corresponde a tres módulos, por lo tanto, se podrá colocar un máximo de 12 células, que ya concuerda con lo estimado. Respecto al material se ha escogido hierro ya que se disponía de él previamente. A continuación se muestran unas ilustraciones de este elemento.

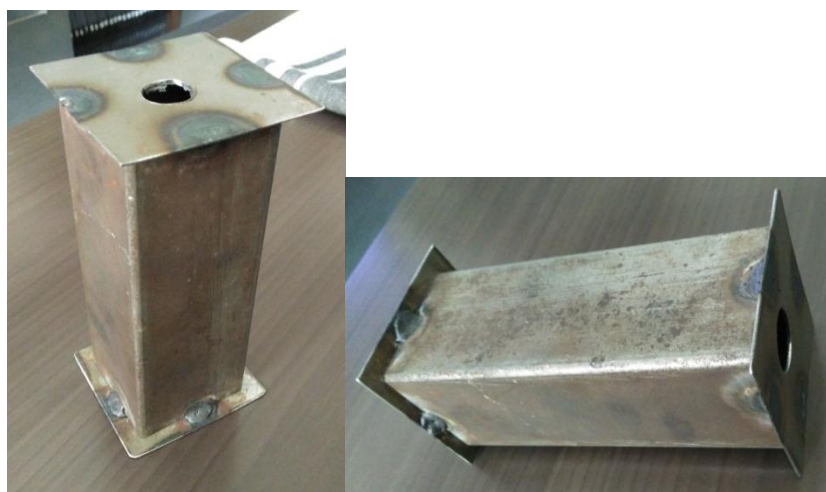


Ilustración 28: Prisma de aluminio. Fuente: Elaboración propia

El fluido utilizado para calentar este prisma y simular el radiador será aire. Para ello, se utilizará una pistola de aire caliente regulable que pueda introducir por uno de los orificios aire a unos 100°C. A este prisma se le añadirán unas varillas que hagan de soporte para poder mantenerlo en una posición vertical y poder introducir por su parte inferior el fluido.

4.5. Montaje y prueba

El montaje de este prototipo será de la misma forma que la instalación realizada ya que lo que se pretende es simular de forma más o menos aproximada su comportamiento. Para comprobar su funcionamiento, se va a utilizar el dispositivo Pico, con el cual se puede medir la temperatura en ciertos puntos del dispositivo así como el voltage que esta produciendo.

Las temperaturas que se van a tomar son dos; la primera es la existente entre la pasta térmica y el hierro del prisma que, puesto que la resistencia térmica de la pasta es despreciable, será la misma temperatura que habrá en la cara caliente del módulo TEG.

La segunda temperatura que se tomará será la existente en el disipador. Sería ideal tomar la temperatura de la cara fría del módulo pero se hace difícil puesto que habría que introducir el termopar en la pasta térmica que hace de unión del TEG y el disipador.

A parte, también se tomará el valor de la tensión que produce el prototipo. El problema es que el dispositivo que se va a utilizar soporta una tensión máxima de unos milivoltios por lo que se tendrá que reducir el valor real obtenido mediante unas resistencias variables para ajustar el valor a lo permitido. El prototipo final por tanto quedaría de la siguiente manera:

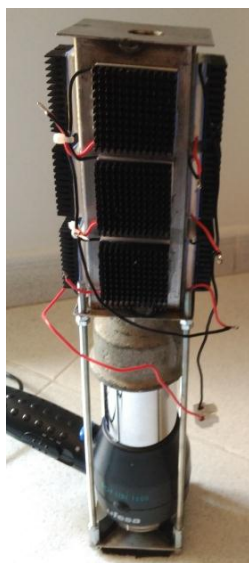


Ilustración 29: Prototipo final. Fuente: Elaboración propia

El montaje con el dispositivo Pico quedaría de la siguiente forma:

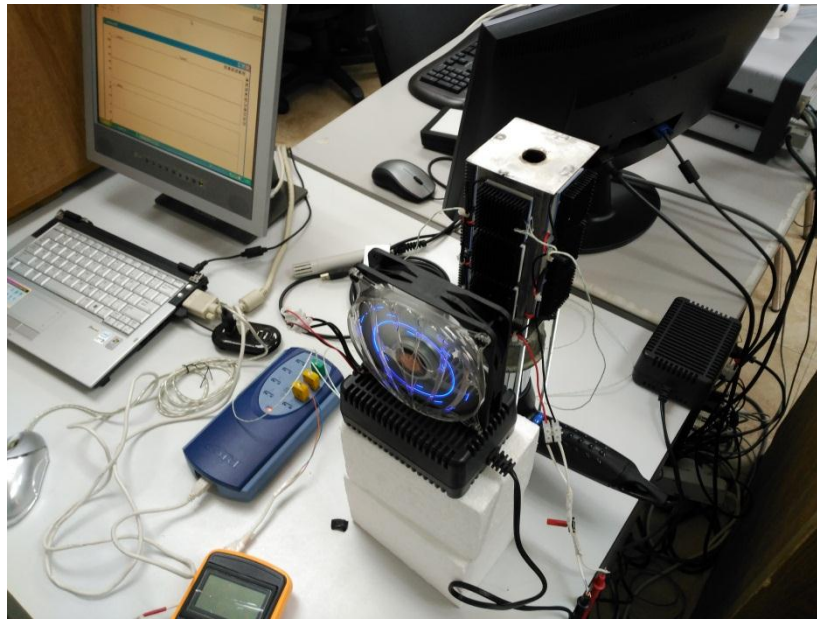
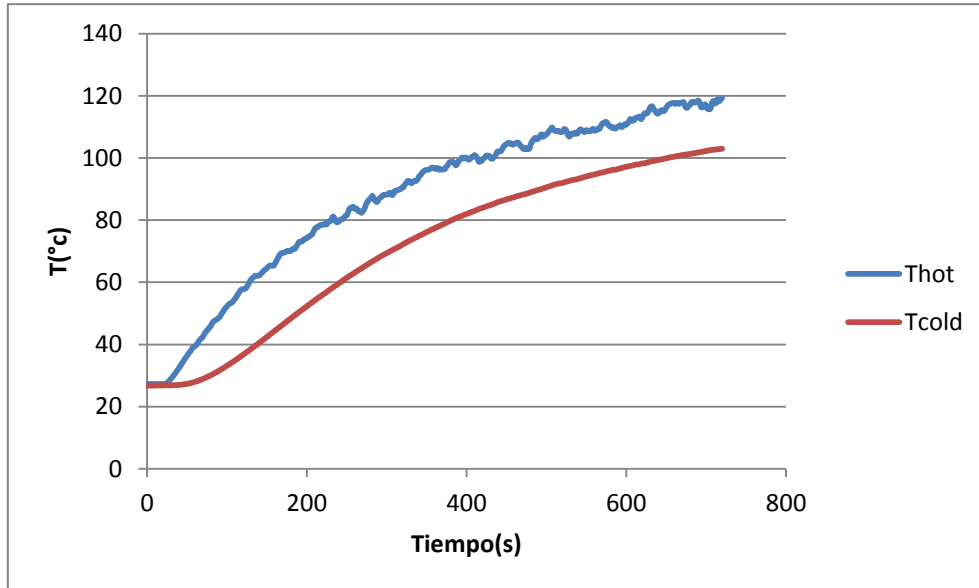


Ilustración 30: Montaje prueba. Fuente: Elaboración propia

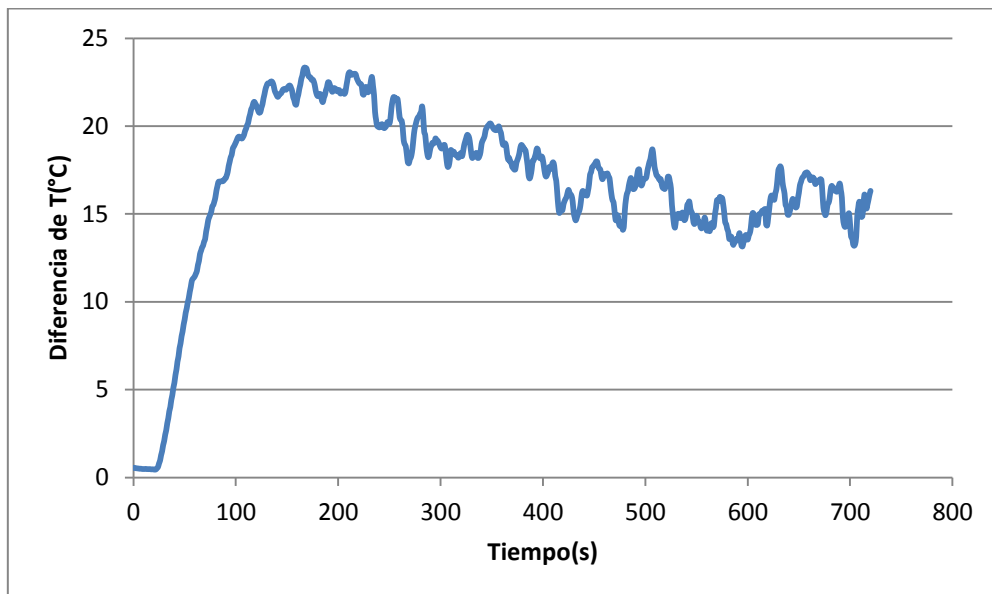
4.6 Resultados

En este apartado se van a comentar los resultados obtenidos con el montaje realizado. Es importante comentar que la prueba final se hizo sin el ventilador ya que este interfería y falseaba los valores de temperatura obtenidos con los termopares. Por este motivo, los resultados que se van a comentar a continuación son con convección natural y en un ambiente a una temperatura de 27°C.

A continuació se mostren ambdues temperatures en funció del temps i la diferència existent entre elles:

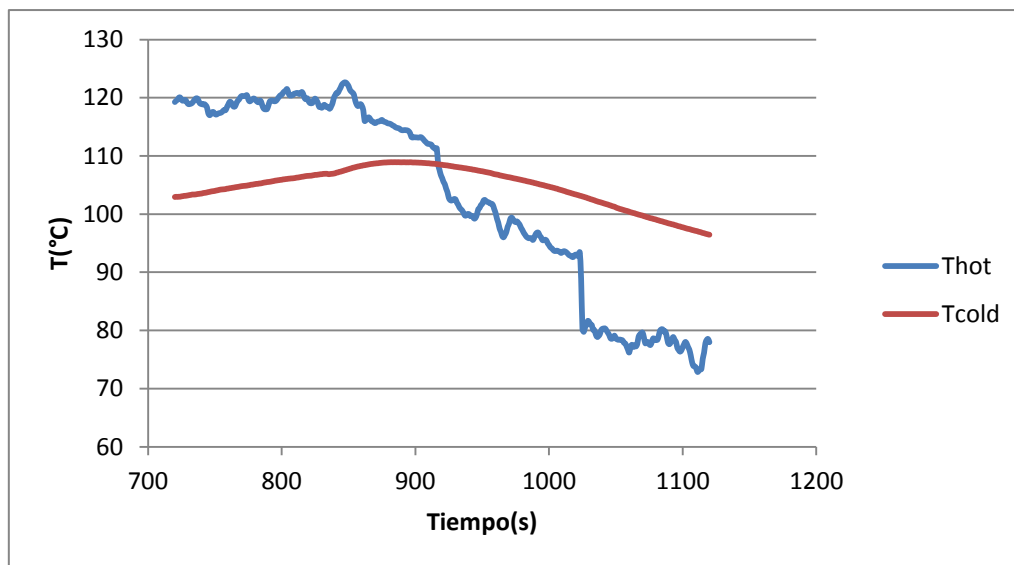


Gràfica 8: T en funció del temps. Fuente: Elaboración propia



Gràfica 9: Diferencia de T. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar ambas temperaturas aumentan con el tiempo manteniendo una diferencia de temperatura constante. Este modo de trabajar no es el correcto ya que lo ideal sería que la temperatura del disipador (T_{cold}) se mantuviese más o menos constante en el tiempo mientras que la temperatura de la cara caliente (T_{hot}) aumenta. De esta forma, se conseguiría maximizar la potencia proporcionada por el prototipo. Este mal funcionamiento se debe a que los disipadores no son capaces de extraer tanto calor como deberían puesto que se les está haciendo trabajar al límite de su capacidad de transferencia. Este hecho se puede observar en la siguiente gráfica en la que se muestra la caída de temperatura en el prototipo cuando se le deja de aplicar el flujo caliente:



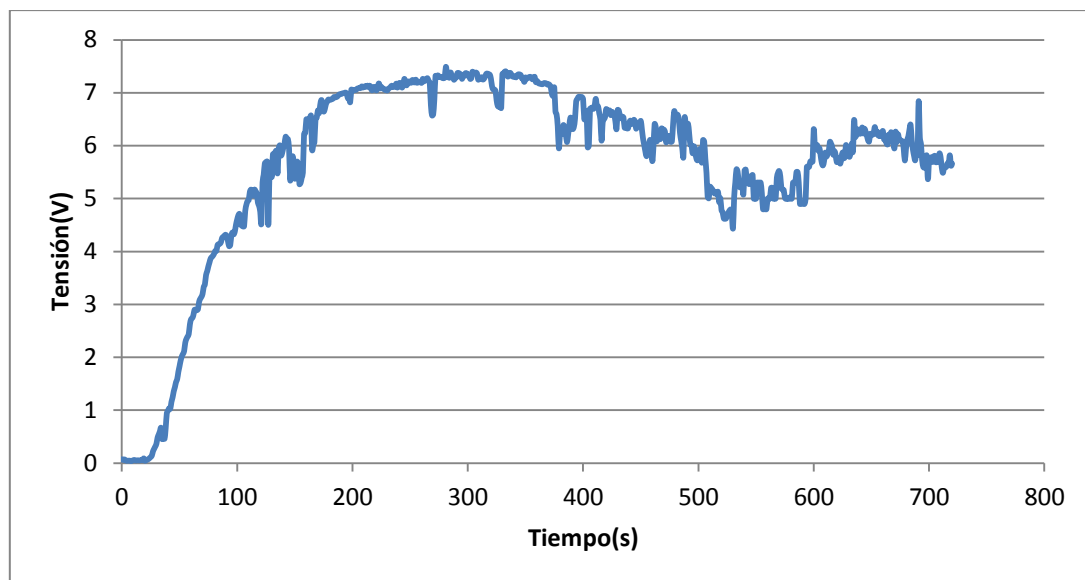
Gráfica 10: Caída de T. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la temperatura de la cara caliente del módulo TEG desciende más rápido que la del disipador llegando incluso al punto de ser esta más fría. Este problema se podría solucionar aplicando convección forzada mediante un ventilador como ya se ha comentado en otras ocasiones. De este modo, el aire, que incide a una cierta velocidad, ayuda a extraer el calor de los disipadores.

La mejor opción para resolver este problema es utilizar un heat pipe en lugar de un disipador. Un heat pipe es un dispositivo de transferencia de calor que combina la conductividad térmica por convección característica del termosifón con un cambio de fase de líquido a vapor que favorece el transporte del calor, por lo que resulta más eficiente.

Básicamente consiste en un tubo cerrado por ambos extremos en cuyo interior hay un fluido que puede cambiar de fase entre evaporación y condensación al ser sometido a una diferencia de temperatura. Al aplicarle calor en un extremo se evapora el líquido de ese extremo y se desplaza al otro lado, ligeramente más frío, condensándose y transfiriéndole el calor. Como se trata de un sistema con un recorrido más largo, puede absorber más calor que el disipador ya que este está bastante limitado en cuanto a geometría.

A continuación se va a mostrar la gráfica de la tensión obtenida durante el tramo en el que circulaba fluido a través del prototipo:



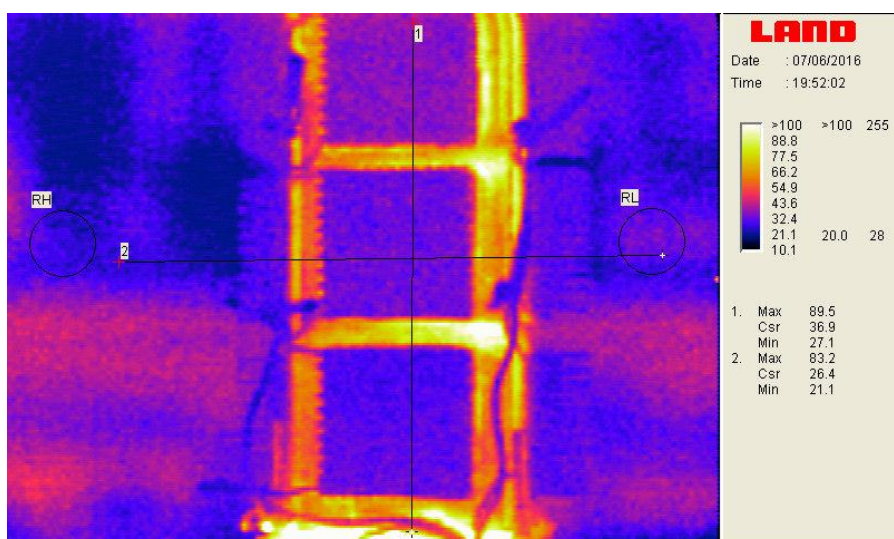
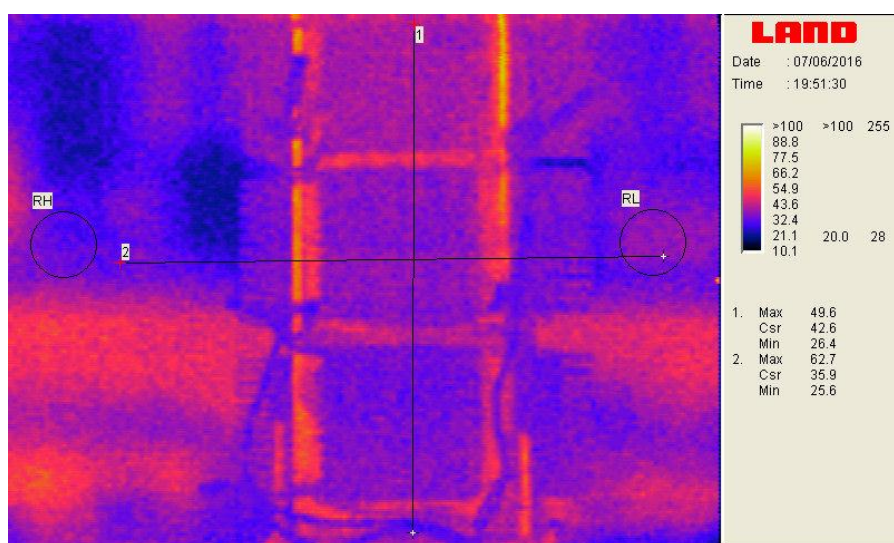
Gráfica 11: Tensión producido por el prototipo. Fuente: Elaboración propia

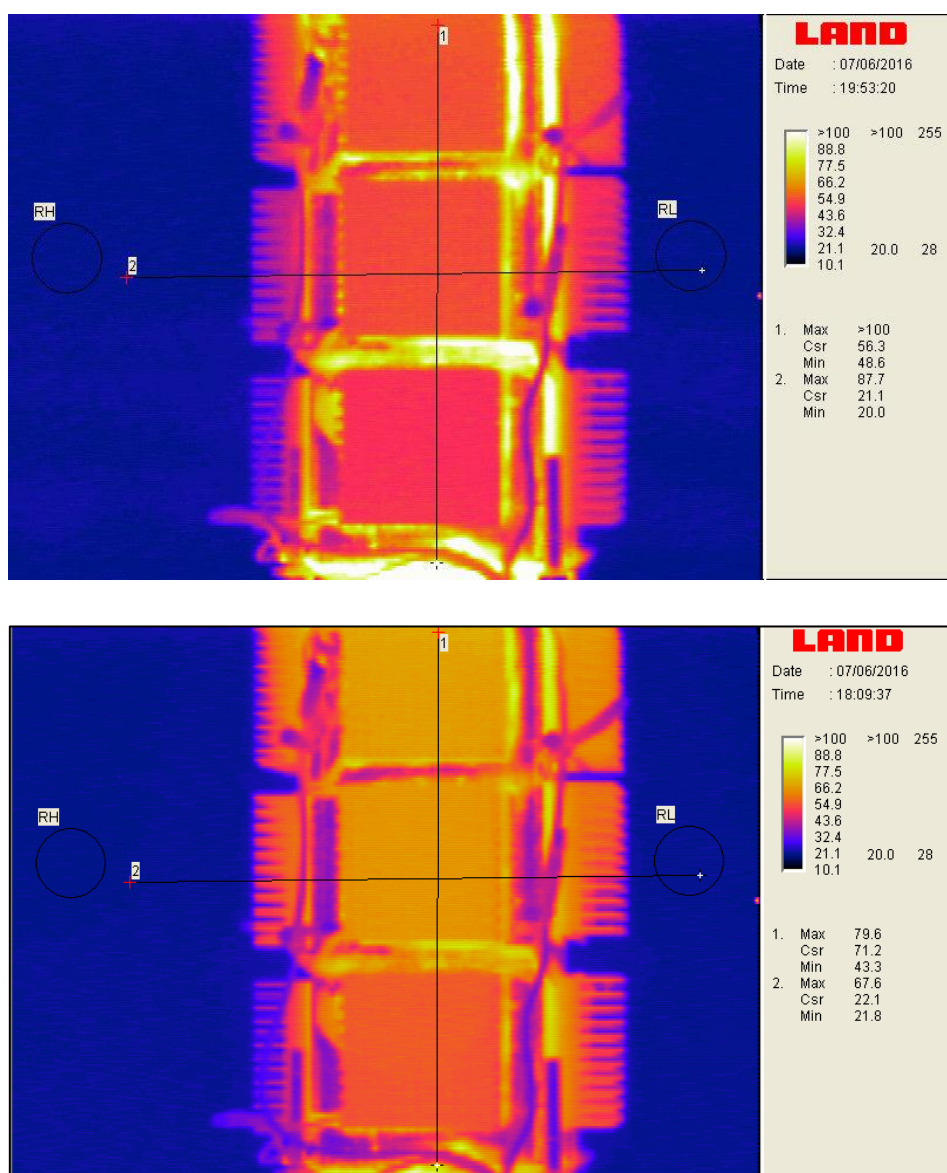
En este gráfico se puede observar que la tensión media proporcionada por el prototipo (formado por 9 módulos en serie) es de 6V. Se pueden observar algunas fluctuaciones debidas a que la diferencia de temperaturas no es constante como se ha podido ver anteriormente. El hecho de que esta diferencia de temperaturas fluctúe puede ser debido a que el secador no emite un flujo constante sino que tiene pequeñas intermitencias.

También es importante comentar que no se pudo simular más tiempo el funcionamiento de este prototipo puesto que llegó un punto (tiempo aprox. de 760s) en que este dejó de producir una tensión. El motivo de este hecho radica en el colapso de uno de los módulos debido a las altas temperaturas aplicadas en ambas caras.

El mòdul colapsó puesto que la calidad de los TEG utilizados no es la mejor existente en el mercado y ha quedado en evidencia, como la diferencia de precio puede marcar el buen funcionamiento del sistema. Esta misma diferencia en el precio se puede ver en este trabajo entre los módulos utilizados en la instalación y los utilizados en el prototipo (los de la instalación son diez veces más caros).

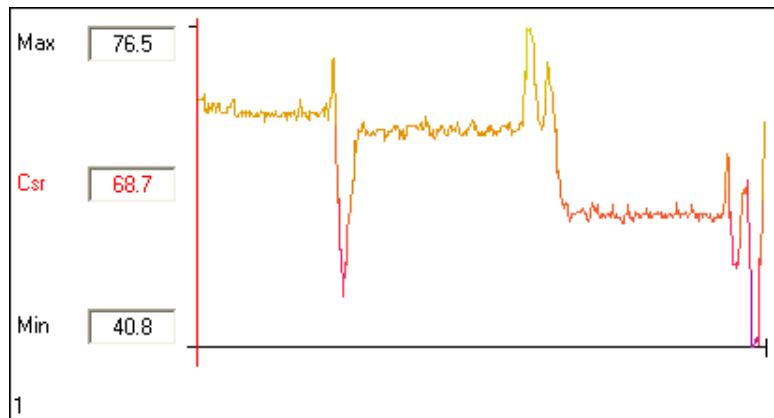
A parte de este estudio, también se realizaron algunas fotografías térmicas que ayudan a entender el funcionamiento del prototipo. Las fotografías obtenidas en orden de funcionamiento son las siguientes:



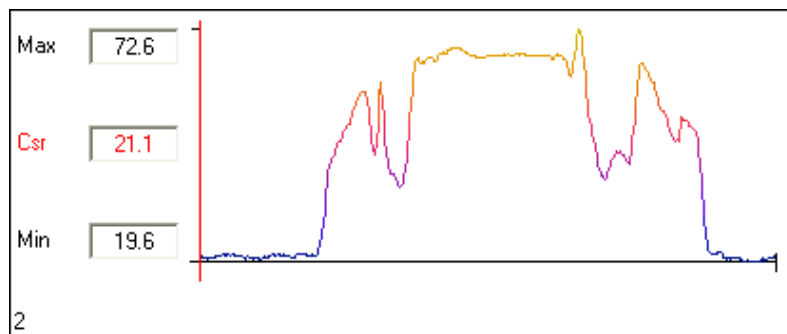


Il·lustració 31: Fotografies tèrmiques del prototip. Fuente: Elaboración propia

En esta serie de fotografías se puede observar la evolución del rango de temperaturas a lo largo del prototipo. En un inicio es el prisma de hierro el que alcanza una temperatura elevada pero a lo largo del tiempo se va transfiriendo el calor hacia los disipadores haciendo aumentar la temperatura de estos como se puede observar en la última fotografía. Además de estas imágenes, el programa permite graficar los rangos según un eje. Como se puede observar en las fotografías, se ha colocado un eje en ambos sentidos del prototipo los cuales proporcionan los siguientes datos referentes a la última fotografía:



Gràfica 12: T en el eje y. Fuente: Elaboración propia



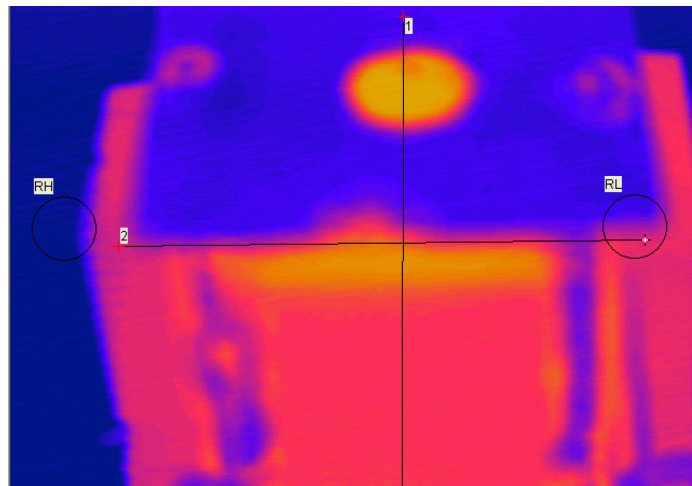
Gràfica 13: T en el eje x. Fuente: Elaboración propia

De la primera gráfica se obtienen unos resultados interesantes, ya que esta muestra que los tres disipadores se encuentran a temperaturas ligeramente diferentes, siendo el disipador superior el que se encuentra más caliente. Esto puede ser debido a la circulación irregular del fluido dentro del prisma el cual provoca que la zona superior se caliente más que la inferior. Este comportamiento sería el mismo que se vería en los disipadores de la instalación en el radiador ya que los que se encuentren en la zona de entrada del fluido al radiador se calentarán más que los que estén colocados en una zona más avanzada del serpentín donde la temperatura ya se ha reducido.

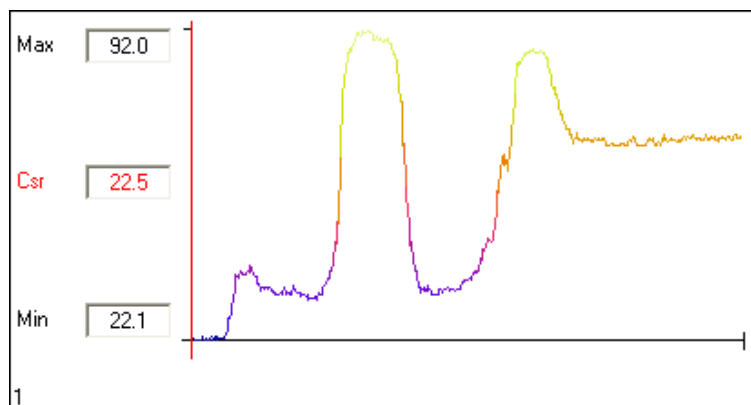
En la segunda gráfica se puede observar el comportamiento del sistema disipador-pasta-TEG-pasta-hierro. Esta gráfica empieza con un primer tramo en el que la temperatura aumenta de manera constante. Este tramo corresponde al disipador donde la temperatura del interior es mucho mayor que la de las aletas, las cuales se encargan de transmitir el calor al ambiente.

A continuació la temperatura segueix augmentant fins a un cert valor que correspon a la cara calenta del mòdul TEG. Existeix una caiguda de temperatura en aquest tram que se deu al cablejat entre els mòduls que interfire en la fotografia. Inmediatament després existeix una segona caiguda de temperatura que correspon a la temperatura de la esquena del prisma de ferro, la qual és inferior a la existent en el centre de les cares. Després existeix un altre tram d'augment de temperatura que correspon al dissipador que apareix frontalment el qual té una temperatura elevada i la altra mitat de la gràfica segueix la mateixa metodologia que la primera però en el sentit contrari.

Per últim, se va a mostrar la temperatura en el orifici de sortida del fluid i la gràfica de este en el eix de ordenades:



Il·lustració 32: T de sortida del fluid. Font: Elaboració pròpia



Gràfica 14: T sortida del fluid. Font: Elaboració pròpia



Como se puede comprobar tanto en la ilustración como en la gráfica la temperatura en el orificio de salida es la más elevada de todo el prototipo como era de esperar. Existe una diferencia de temperatura entre la temperatura del fluido y el disipador por lo que queda demostrado que aunque estos se calientan más de lo esperado, siguen estando por debajo de la temperatura del prisma, produciendo así una diferencia de temperatura en los módulos TEG.

5. Resumen de resultados

5.1. Implicaciones ambientales

En este apartado se van a explicar todos los conceptos relacionados con la viabilidad medioambiental de los elementos utilizados en la instalación. Para ello se hará un estudio sobre qué acciones medioambientales llevan a cabo las empresas en el proceso de fabricación de estos productos.

Es importante comentar que este estudio estará hecho solamente sobre los elementos utilizados en la instalación ya que los utilizados en el prototipo provienen en el mayor de los casos de vendedores particulares y esto dificulta su seguimiento medioambiental (no se sabe que empresa los ha producido exactamente). Sin embargo, por analogía a los dispositivos de la instalación, se podrá ver que normas medioambientales han de cumplir.

5.1.1. RoHS

Antes de empezar con el análisis hay una directriz europea importante a comentar ya que prácticamente todas las empresas la tienen que cumplir. Se trata de la directriz RoHS Directive 2011/65/EU la cual rige el uso de sustancias peligrosas en dispositivos eléctricos y electrónicos. Esta directiva es una ampliación de la directiva RoHS Directive 2002/95/EC de 2006 y se aplica a un grupo amplio de productos de este sector y que se pueden encontrar en el anexo 1 de esta directiva (enlace <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065&from=EN>).

Mediante esta directriz, los estados miembros garantizan que a partir del 8 de junio de 2011 los nuevos aparatos eléctricos y electrónicos no contienen plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente, polibromobifenilos (PBB) o polibromodifeniléteres (PBDE) en una concentración mayor al 0,1%.

Será por lo tanto obligación de los fabricantes elaborar toda documentación técnica necesaria para asegurar que sus productos se han diseñado y fabricado en conformidad a los requisitos establecidos en esta directriz.

Por otra banda, en conjunto con esta directriz, encontramos la WEEE Directive 2002/96/EC. Esta directriz tiene como objetivos prevenir la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de dichos residuos. Además, se pretende mejorar el comportamiento de todos los agentes que intervienen en su ciclo de vida.

Por lo tanto, con esta directiva, los estados miembros fomentan un diseño y una producción de aparatos eléctricos y electrónicos que tenga en cuenta y facilite su desarmado y valorización dando prioridad a su reutilización y reciclado. Para el caso de los aparatos provenientes de hogares particulares, los estados tienen la obligación de organizar sistemas que permitan devolver gratuitamente estos residuos así como velar por la disponibilidad y accesibilidad de las instalaciones de recogida que sean necesarias. En el caso de las industrias, serán ellas mismas las que realicen dichas acciones.

Respecto al Reach, se trata de un reglamento europeo adoptado con el fin de mejorar la protección de la salud humana y el medio ambiente contra el riesgo que pueden presentar los productos químicos. Por lo tanto, las empresas tienen la obligación de recopilar información sobre las propiedades y los usos de las sustancias que fabrican o importan. Además deben realizar una valoración de los peligros y riesgos potenciales que presenta la sustancia.

5.1.2. T-Global Technology

La primera empresa a comentar es European Thermodynamics Ltd la cual se encarga de distribuir los módulos TEG. Esta empresa no es la productora de este dispositivo sino que es T-Global Technology quien se encarga de tal acción. Esta empresa tiene un elevado grado de implicación medioambiental y tiene una política clara que se rige por los siguientes puntos:

1. Se compromete a cumplir con las leyes y regulaciones ambientales así como con cualquier otro requisito del cliente para su gestión ambiental.
2. No utilizará sustancias prohibidas.
3. Mantendrá la mejora del rendimiento en la gestión ambiental y la prevención de contaminación.
4. Implementará la gestión del reciclaje de residuos y la conservación de los recursos.

5. Todos sus productos cumplen con la legislación correspondiente a RoHS y Reach.

De forma adicional a estos puntos, los trabajadores de esta empresa siguen un código de comportamiento con el objetivo de usar los recursos de forma más eficiente y reducir la huella ecológica. A parte, todas sus oficinas disponen de elementos que reducen el consumo de energía. En el siguiente enlace se pueden descargar todos los certificados de los que disponen:

<http://www.tglobalthermal.com/about.php>

Como punto adicional a esta empresa comentar que su producción se basa en procesos CDR. Estas siglas hacen referencia a *carbón dioxide removal* y se trata de una serie de métodos y tecnologías que tienen como objetivo reducir la cantidad de carbono emitido a la atmósfera.

5.1.3. ABL Heatsinks y pasta térmica

La empresa ABL es la encargada de producir los disipadores de calor de aluminio comentados. Esta empresa utiliza aluminio reciclado para fabricar sus productos con la ventaja de que el material en cuestión retiene todas sus propiedades a pesar de ser reciclado. Además, su producción sólo requiere un 5% de la energía que se necesita para producir el aluminio original, siendo esta en un 60% proveniente de energías renovables.

ABL se compromete además a estudiar los potenciales riesgos ambientales que se puedan producir de su actividad así como implantar un control y reducción del impacto que puedan producir.

Respecto a la pasta térmica utilizada, no se ha encontrado la empresa productora pero en las especificaciones técnicas proporcionadas por el distribuidor aparece que cumple con las RoHS.

5.1.4 Traco Power

Traco Power es una empresa que fabrica, entre otros productos, el convertidor seleccionado. Esta empresa cumple por la parte medioambiental tanto con la normativa RoHS como con la Reach y por la parte de seguridad con la UL, CB y CSA. Estos tres certificados hacen referencia a medidas de seguridad aplicadas al producto final y que declaran que es apto para su comercialización como pueden ser pruebas mecánicas de desgaste y resistencia o pruebas eléctricas de aislamiento.

Además de estos certificados, sus productos también cumplen con la normativa EN 55022. Lo que establece esta normativa es básicamente unos límites de interferencia electromagnética y definir los procesos para su medida. Dentro de esta normativa se pueden encontrar dos tipos de clases: A y B. La diferencia entre ellas son los límites establecidos siendo así la clase B la más exigente. Este producto pertenece a la clase A por lo que si se usa en un ámbito doméstico habría que tomar medidas especiales para que no cause interferencias con otros elementos pero como este no es el caso aquí explicado, no habrá que realizar ninguna modificación.

5.1.5. Ritar Power

Esta empresa es la encargada de producir la batería comentada. Se trata de un producto con elementos químicos por lo que su tratamiento medioambiental siempre es difícil. Sin embargo, Ritar Power es una de las pocas compañías que producen baterías ácidas que no contiene cadmio, uno de los productos prohibidos por las RoHS en concentraciones mayores del 0,1%. Además, dispone de los siguientes certificados: ISO9001:2000, ISO14001, OHSAS 18001, UL, CE así como compatibilidad electromagnética. Estos certificados se pueden ver en el siguiente enlace: <http://www.ritarpower.com/service.asp?BigClassID=54&SmallClassID=8&id=234>

A continuación se hace una breve explicación de a que hace referencia cada uno de estos certificados:

- ISO9001:2000: Esta directriz no está relacionada directamente con la protección del medio ambiente pero define los requisitos que ha de cumplir un sistema de gestión de calidad
- ISO14001: Esta norma permite sistematizar los aspectos ambientales que se generan en cada una de las actividades que se desarrollan en la empresa.

Además, promueve la protección ambiental y la prevención de la contaminación teniendo en cuenta el equilibrio socioeconómico.

- OHSAS 18001: Esta norma especifica los requisitos para un sistema de gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.
- UL y CE: Ambas se aplican al producto final y hacen referencia a si este cumple con la normativa europea y son aptas para su comercialización. Se miran aspectos cómo su seguridad o si pueden ser perjudiciales para la salud.

5.1.6. Gestión de los residuos

En último lugar comentar como se gestionarían los residuos producidos por la instalación una vez el coche haya agotado su vida útil o cuando se haya roto alguno de los elementos.

Los residuos que se producirán serán básicamente electrónicos (TEG, convertidor o batería por ejemplo), aunque también se tendrá aluminio proveniente de los disipadores. Respecto a este segundo tipo de residuo, existen muchas empresas que se encargan de la gestión de los metales por lo que no supondría un gran problema.

En relación a los residuos electrónicos, habría dos opciones para su gestión. En primer lugar habría que comprobar si estos siguen en buen estado puesto que se podrían reutilizar. En caso contrario, habría que buscar también alguna empresa externa que se pueda encargar de ellos. Hay varias empresas que se encargan de gestionar todo tipo de productos electrónicos por lo que como en el caso del aluminio sólo habría que contratar los servicios de una de ellas.

5.2. Planificación trabajo futuro

En este apartado se explicará cómo podría evolucionar este estudio a proyecto detallando que documentos se tendrían que realizar. También se comentará que trabajos podrían derivar de este estudio.

Respecto a lo primero, en un proyecto técnico encontramos cuatro documentos básicos: memoria y anexos, planos, pliego de condiciones y presupuesto. Como este trabajo se trata de un estudio, se ha realizado el primer documento correspondiente a la memoria y los anexos y el del presupuesto por lo que si se quisiese realizar un proyecto derivado de este estudio habría que realizar los otros dos. Para poder realizar estos documentos será necesario diseñar detalladamente la instalación así como definir todos los elementos que la componen y la forma de acoplar estos a la estructura ya existente en el automóvil. Para seleccionar los elementos será necesario saber las características exactas tanto técnicas como administrativas que se requieren. Además, antes de comenzar con el proyecto habría que realizar un estudio térmico exhaustivo sobre la evolución de la ley de temperaturas en el sistema aquí comentado, es decir, ver que temperaturas existen en los diferentes elementos del bloque radiador-silicona-célula-silicona-disipador con el fin de hacer un cálculo más aproximado de la tensión producida. También podría incluir el estudio del efecto de la instalación al buen funcionamiento del radiador, es decir, ver si este realmente va a poder llevar a cabo su función de refrigerador correctamente debido a la obstrucción que el sistema le produce.

Este trabajo es básicamente un estudio y no un proyecto puesto que los generadores termoeléctricos están todavía en vía de desarrollo y mejora en los apartados de rendimiento, tensión generada y coste. Por este motivo todavía no sería viable implantar una instalación como la aquí comentada a corto plazo aunque se esperan aplicaciones similares a mediano plazo.

Respecto a los trabajos que derivan de este estudio, existen varias opciones. Una primera opción sería buscar otra aplicación de estos módulos en el sector industrial, comentando de qué forma se aprovecharía los flujos residuales y que utilidad podría tener. También se podría realizar un estudio sobre el otro tipo de módulos termoeléctricos, los TEC, que generan una diferencia de temperatura cuando se les aplica una tensión.

Otro posible trabajo sería realizar el mismo prototipo pero sustituyendo los disipadores por un heat pipe y verificar que estos mejoran el comportamiento del sistema, ayudando así a producir una mayor tensión.

5.3. Conclusiones

Las conclusiones de este estudio se van a dividir en dos bloques, por un lado, se van a comentar los resultados obtenidos sobre la instalación y por el otro, los obtenidos a partir del prototipo realizado.

Respecto al primer bloque, se ha diseñado una instalación compuesta en términos generales por 24 módulos TEG los cuales se colocaron en el radiador del sistema de refrigeración del automóvil. Estos alimentan una batería de 12 voltios que tiene una capacidad de 7Ah. A partir de este sistema se han hecho los cálculos térmicos correspondientes y se han obtenido los resultados esperados, es decir, que los módulos trabajan con una diferencia de temperaturas de entre 40-60 grados dependiendo de si existe convección forzada o natural y si es verano o invierno. Con estas diferencias se han podido graficar la tensión, el voltaje y la potencia que proporcionaría el sistema en función del mes del año.

Como se ha podido comprobar el sistema trabaja mucho mejor con convección forzada. Por este motivo, los módulos se colocaron de cara al ventilador que dispone el vehículo en el sistema de refrigeración. Además, se ha graficado la evolución de la temperatura a través del sistema pasta térmica-TEG-pasta térmica-disipador-ambiente y se ha podido observar como la temperatura cae drásticamente al pasar por el módulo TEG. Esto se debe a que gran parte del calor que pasa a través suyo se transforma en la corriente eléctrica que se obtiene.

A parte de estos resultados, también se realizó un esquema que mostraba como sería el circuito necesario para volcar energía de la batería adicional a la disponible en el automóvil y se calculó el ahorro en combustible que supondría dicha instalación. Sobre este último apartado, se pudo ver que el ahorro era de 1.300 litros a lo largo de la vida útil del automóvil.

El siguiente paso que se realizó fue buscar que legislación de tráfico tenía que cumplir dicha instalación, es decir, si tenía que cumplir ciertos requisitos o si había que

informar de los cambios realizados en el automóvil. Como se pudo ver, habían varios grupos de sistemas del automóvil en los que si se producían cambios tenían que pasar la ITV. Sin embargo, dicha instalación no estaba englobada en ninguno de estos grupos por lo que no era necesario realizar ningún documento ni informar de los cambios.

Por último, se realizó un estudio económico para ver si era viable o no. Este estudio se basaba en comprar el coste de la instalación con el ahorro producido gracias a su trabajo. Se pudo comprobar que la diferencia, aunque no muy amplia, era positiva a lo largo de la vida útil de un automóvil por lo que se dictaminó que era viable.

Respecto al segundo bloque, se realizó un prototipo con el que se pudiese simular el comportamiento de la instalación diseñada. Para ello se realizó una geometría que fuera similar a un radiador y se le implantó una instalación similar a la comentada con la diferencia de que en este caso no se iba a poner convertidor puesto que se iba a trabajar con valores de tensión relativamente pequeños.

Con este prototipo se realizaron varias pruebas térmicas para comprobar su funcionamiento. En primer lugar se utilizó un dispositivo de la empresa Pico el cual permite medir valores de temperatura con unos termopares. En esta prueba, se midieron dos temperaturas, la del exterior del prisma de hierro y la del exterior de uno de los disipadores utilizando convección natural. Se pudo comprobar que el funcionamiento no fue idóneo porque a pesar de que existía una diferencia de temperaturas, esta era constante ya que los disipadores aumentaron también de temperatura hasta unos valores cercanos a los 90 grados.

Lo ideal hubiese sido que la temperatura de estos se hubiese mantenido sobre los 40 ya que de esta forma la diferencia de temperatura habría sido mayor y por lo tanto el sistema habría generado más tensión. Este problema se pudo comprobar también cuando se dejó que el sistema se enfriara de forma natural, donde se pudo ver que la temperatura del prisma se reducía más rápido que la de los disipadores.

Esto se podría solucionar de dos formas diferentes: la primera sería aplicar una convección forzada para ayudar a extraer el calor de los disipadores como estaba pensado en un principio pero esta idea no se pudo llevar a cabo ya que el aire interfería en las medidas. La segunda sería sustituir los disipadores por un heat pipe ya que este es mucho más eficaz a la hora de transmitir el calor aparte de que tiene

una capacidad mayor de absorción. El problema es que es un sistema muy costoso tanto técnicamente cómo económicamente y por eso no se pudo utilizar.

Lo siguiente que se realizó fue comprobar el valor de tensión que proporcionaba el sistema. Como se ha comentado, la diferencia de temperaturas se mantuvo constante por eso el sistema proporcionó un valor de unos 6 voltios de manera permanente.

Por último, se realizaron varias fotografías térmicas donde se pudo ver de una forma más visual el rango de temperaturas existente en todo el prototipo. Se pudieron validar algunos de los resultados ya obtenidos como el aumento de temperatura en los disipadores. Con esta prueba se pudo ver de una forma general como se comportaba la temperatura a través del sistema ya conocido formado por la pasta térmica, el módulo TEG y el disipador. Los resultados obtenidos con esta traza fueron parecidos a los obtenidos mediante el cálculo térmico en el diseño de la instalación. De todas estas pruebas se pudo concluir que el prototipo funcionaba correctamente aunque no de la forma más idónea.

A modo general, también se ha realizado un estudio medioambiental en el cual se ha hecho una búsqueda de la normativa que han de cumplir los diferentes sistemas térmicos y electrónicos utilizados y ver de qué forma se podrían gestionar los residuos producidos. Respecto a lo primero, se ha comprobado que todas las empresas que fabrican los elementos seleccionados cumplen con la normativa correspondiente e incluso algunas llevan a cabo actividades medioambientales en la propia industria y/o oficinas por lo que el grado de concienciación es elevado. Respecto a lo segundo se ha podido comprobar que existen varias empresas que podrían encargarse tanto del aluminio producido por los disipadores así como de todos los elementos electrónicos. Sin embargo, el principal objetivo a la hora de gestionar los residuos electrónicos sería intentar reutilizarlos si no están dañados.

6. Anexo 1

6.1. Càlculs

A continuació se mostren els càlculs realitzats:

Balance potències		Unitats	
$T_d - T_a = P \cdot R_{thd-a}$	$T_d = T_a + P \cdot R_{thd-a}$	Convecció natural	Convecció forçada
	Enero	36,30	23,24 °C
	Febrero	36,20	23,14 °C
	Marzo	39,70	26,64 °C
	Abril	42,10	29,04 °C
	Mayo	45,90	32,84 °C
	Junio	50,40	37,34 °C
	Julio	54,00	40,94 °C
	Agosto	52,20	39,14 °C
	Septiembre	48,50	35,44 °C
	Octubre	44,90	31,84 °C
	Noviembre	41,10	28,04 °C
	Diciembre	38,80	25,74 °C
$T_c - T_d = P \cdot R_{thpc-d}$	$T_c = T_d + P \cdot R_{thpc-d}$		
	Enero	36,31	23,26 °C
	Febrero	36,23	23,16 °C
	Marzo	39,74	26,66 °C
	Abril	42,10	29,06 °C
	Mayo	45,92	32,86 °C
	Junio	50,67	37,36 °C
	Julio	54,00	40,96 °C
	Agosto	52,25	39,16 °C
	Septiembre	48,53	35,46 °C
	Octubre	44,90	31,86 °C
	Noviembre	42,15	28,06 °C
	Diciembre	38,80	25,76 °C
$T_r - T_h = P \cdot R_{thr-ph}$	$T_h = T_r - P \cdot R_{thr-ph}$		
	Todo el año	94,99	94,99 °C

Por lo tanto, teniendo T_{hot} y T_{cold} se puede calcular la diferencia de temperatura existente en el módulo TEG:

Diferencia de temperaturas	$T_h - T_c$	Unidades
	Convección natural	Convección forzada
Enero	58,67	71,73 °C
Febrero	58,75	71,83 °C
Marzo	55,25	68,33 °C
Abril	52,88	65,93 °C
Mayo	49,07	62,13 °C
Junio	44,31	57,63 °C
Julio	40,99	54,03 °C
Agosto	42,74	55,83 °C
Septiembre	46,46	59,53 °C
Octubre	50,09	63,13 °C
Noviembre	52,84	66,93 °C
Diciembre	56,18	69,23 °C

Y con estos valores se puede calcular el valor de la tensión, intensidad y potencia para un módulo TEG y para los 24:

Tensión	Unidades	Tensión	Unidades
1 TEG		24 TEG	
1,75	2,10 V	21	25,2 V
1,70	2,10 V	20,4	25,2 V
1,60	2,00 V	19,2	24 V
1,55	1,85 V	18,6	22,2 V
1,50	1,80 V	18	21,6 V
1,45	1,75 V	17,4	21 V
1,30	1,60 V	15,6	19,2 V
1,35	1,60 V	16,2	19,2 V
1,45	1,75 V	17,4	21 V
1,50	1,85 V	18	22,2 V
1,55	1,90 V	18,6	22,8 V
1,65	2,00 V	19,8	24 V

Intensidad

	Unidades	Intensidad	Unidades
1 TEG		24 TEG	
320	410 mA	640	820 mA
320	410 mA	640	820 mA
300	390 mA	600	780 mA
290	360 mA	580	720 mA
280	350 mA	560	700 mA
260	320 mA	520	640 mA
220	300 mA	440	600 mA
250	300 mA	500	600 mA
270	330 mA	540	660 mA
280	350 mA	560	700 mA
290	390 mA	580	780 mA
310	400 mA	620	800 mA

Potencia

	Unidades	Potencia	Unidades
1 TEG		24 TEG	
0,56	0,86 W	13,44	20,66 W
0,54	0,86 W	13,06	20,66 W
0,48	0,78 W	11,52	18,72 W
0,45	0,67 W	10,79	15,98 W
0,42	0,63 W	10,08	15,12 W
0,38	0,56 W	9,05	13,44 W
0,29	0,48 W	6,86	11,52 W
0,34	0,48 W	8,10	11,52 W
0,39	0,58 W	9,40	13,86 W
0,42	0,65 W	10,08	15,54 W
0,45	0,74 W	10,79	17,78 W
0,51	0,80 W	12,28	19,20 W

Potencia

	Unidades	Potencia	Unidades
1 TEG		24 TEG	
0,56	0,86 W	13,44	20,66 W
0,54	0,86 W	13,06	20,66 W
0,48	0,78 W	11,52	18,72 W
0,45	0,67 W	10,79	15,98 W
0,42	0,63 W	10,08	15,12 W
0,38	0,56 W	9,05	13,44 W
0,29	0,48 W	6,86	11,52 W
0,34	0,48 W	8,10	11,52 W
0,39	0,58 W	9,40	13,86 W
0,42	0,65 W	10,08	15,54 W
0,45	0,74 W	10,79	17,78 W
0,51	0,80 W	12,28	19,20 W

6.2. Datasheets

A continuació se mostren les dades dels elements utilitzats.

6.2.1. Radiador Valeo

Les especificacions bàsiques del cotxe queden reflectides en la següent taula:

Tabla 5: Especificaciones Peugeot 208. Fuente: Elaboración propia

Marca	Peugeot
Modelo	208
Combustible	Diésel
Motorización	1.6 BlueHDI 75CV
Caja de cambios	Manual
Nº de velocidades	5 marchas

Introduciendo estas características en cualquier casa de productos oficiales de Valeo se obtiene un listado de varios modelos de Radiador que encajan en este modelo. En este caso, se ha escogido el modelo 732930 que tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 6: Especificaciones Radiador Valeo. Fuente: Elaboración propia

Característica	Dimensión (mm)
Altura	380
Ancho	402
Espesor	27
Ø Entrada	28
Ø Salida	28

Estas medidas también quedan reflejadas en la siguiente ilustración:

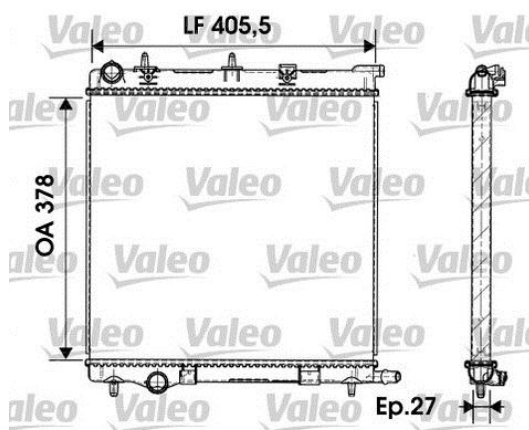


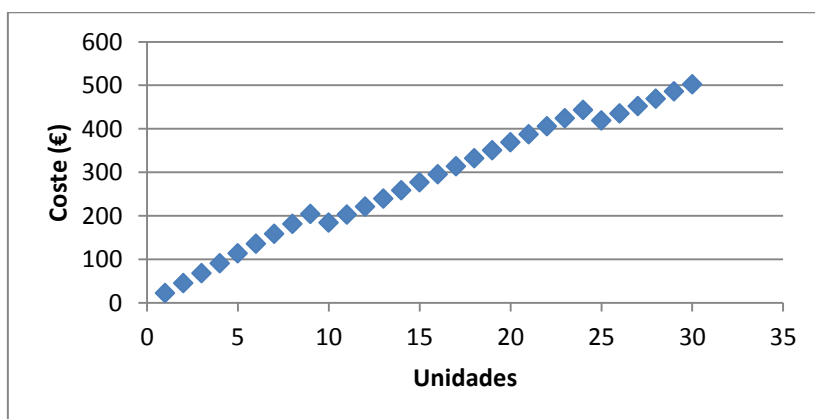
Ilustración 33: Radiador Valeo. Fuente: http://www.mister-auto.es/es/radiador/valeo-732930_g470_a021732930.html

6.2.2. Módulo TEG para diseño

En el documento Thermoelectric power generation modules que se encuentra en el anexo 2 se pueden observar los diferentes módulos de los que dispone la empresa European Thermodynamics Ltd junto con sus especificaciones básicas.

Por otra banda, en el documento GM200-127-10-15 Thermoelectric generator module se pueden encontrar todas las especificaciones del módulo escogido junto con algunas gráficas de gran relevancia que representan voltaje y amperaje en función de la diferencia de temperatura.

El coste por unidad de esta célula varia en función de las unidades compradas. En la siguiente gráfica se puede observar esta relación.



Gráfica 15: Coste en función de las unidades. Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Disipador de calor para diseño

En el documento de la empresa ABL del anexo 2 se puede encontrar la tabla con los diferentes modelos de su disipador estándar. En esta tabla se definen algunos parámetros como pueden ser medidas y resistencias térmicas. Para este estudio se ha escogido el modelo BGA-STD-085.

Precio: 1€/ud

6.2.4. Pasta térmica para diseño

La pasta térmica utilizada es la GD9980 que tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 7: Pasta térmica. Fuente: Elaboración propia

Referencia	GD9980
Color	Blanco
Conductividad térmica	>0.671 W/mK
Peso específico	>2g/cc
Temperatura de operación	-20 a 250°C
Tiempo de secado	5 min
Niveles de adhesión	1.8MPa
Peso neto	5g
Embalaje	Tubo de aluminio, envasado al vacío
Corrosivo	No

Para aplicar esta pasta la superficie ha de estar completamente limpia.

Precio: 1.85€/ud

6.2.5. Convertidor

A continuació se mostren algunes característiques bàsiques del convertidor seleccionat aunque para més informació se puede consultar el datasheet completo en el anexo 2 referente a converters Traco Power.

Tabla 8: Especificaciones técnicas convertidor. Fuente: Elaboración propia

Marca	Traco Power
Voltaje de salida	12V
Intensidad de salida	830mA
Rango de tensión de entrada	18-75V
Eficiencia	86%
Rango de temperaturas	-40°C/75°C
MTBF	350.000h
Ruido	60mV pp
Dimensiones	25x20x10mm
Peso	15g



Ilustración 34: Convertidor Traco Power. Fuente: <http://es.rs-online.com/web/p/products/7331840/?grossPrice=Y>

Precio: 33€/ud

6.2.6. Bateria

Las especificaciones técnicas de la batería Ritar con referencia RT1270 son las siguientes:

Tabla 9: Bateria 12V. Fuente: Elaboración propia

Marca	Ritar
Voltaje	12V
Capacidad	C20 25°C
Carga eléctrica	7Ah
Amperaje	0-50Ah
Dimensiones	151x65x100
Porcentaje autodescarga	2%



Ilustración 35: Bateria Ritar. Fuente: https://autosolar.es/baterias/baterias-agm/bateria-de-ciclo-profundo/bateria-agm-12v-7ah-monoblock-ritar_precio

En el documento titulado RT1270 de Ritar del anexo 2 se puede encontrar el datasheet completo de este producto.

Precio: 21€

6.2.7. Módulo TEG para prototipo

Para realizar el prototipo de la instalación se ha utilizado la célula SP1848-27145, la cual se muestra a continuación:

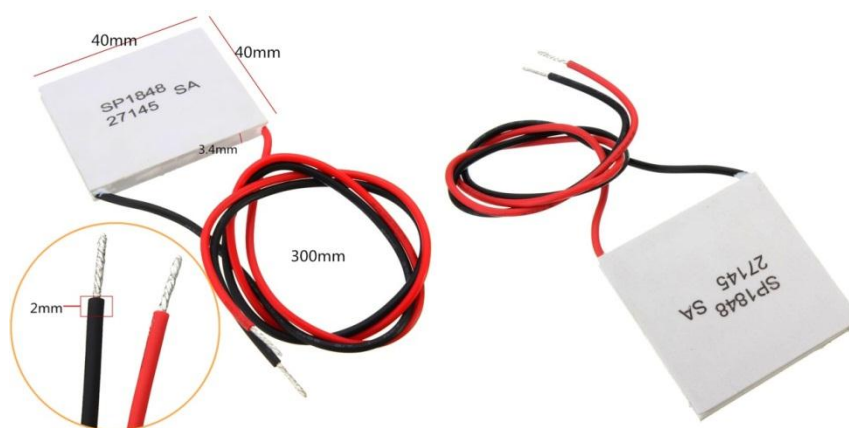


Ilustración 36: Módulo SP1848-27145. Fuente: <http://www.ebay.com/itm/221895761869>

Tabla 10: Especificaciones módulo SP1848-27145. Fuente: Elaboración propia

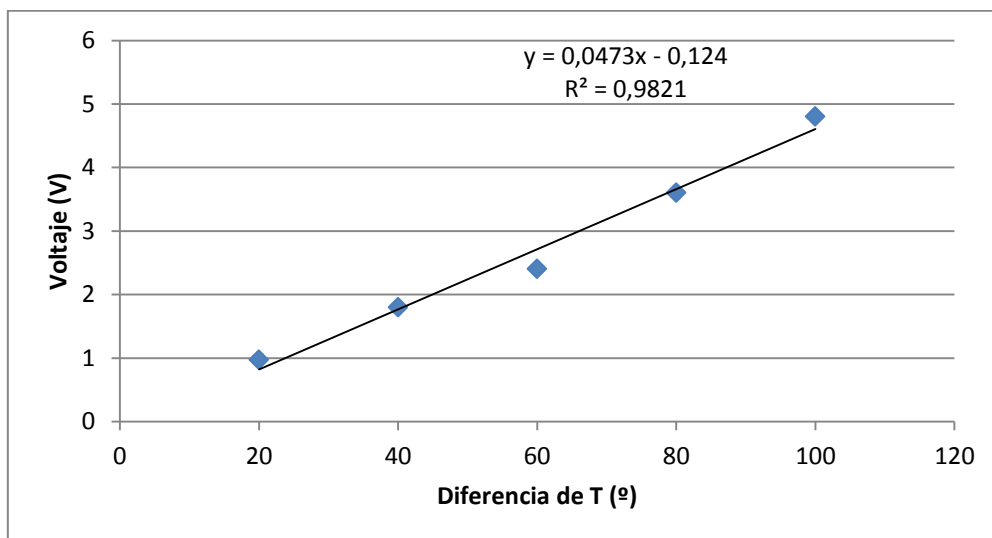
Modelo	SP1848-27145
Color	Blanco
Longitud de los cables	30cm
Tamaño	40x40x3.4mm

Este módulo tiene los siguientes valores referencia de trabajo:

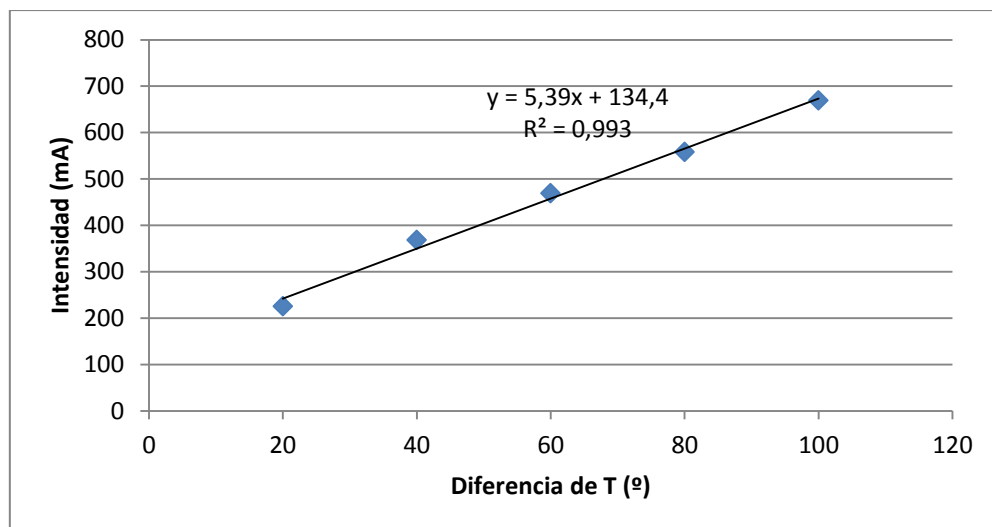
Tabla 11: Comportamiento termoelectrico. Fuente: Elaboración propia

Diferencia de T (°)	Voltaje (V)	Intensidad (mA)
20	0.97	225
40	1.8	368
60	2.4	469
80	3.6	558
100	4.8	669

Si graficamos estos valores y aproximamos la curva a una recta podemos obtener la ecuación que expresa el voltaje y la intensidad de salida en función de la diferencia de temperatura.



Gráfica 16: Voltaje en función de T. Fuente: Elaboración propia



Gráfica 17: Intensidad en función de T. Fuente: Elaboración propia

Precio: 2,2€/ud

6.2.8. Disipador de calor para prototipo

El disipador de calor utilizado en el prototipo ha sido comprado por Amazon y su referencia es B00REFEQ90. Las dimensiones de este disipador son de 40x40x11mm.

A continuación se muestra una imagen de estos disipadores:

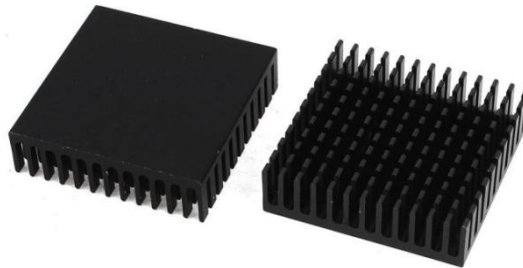


Ilustración 37: Disipador de calor para el prototipo. Fuente:

https://www.amazon.es/dp/B00REFEQ90/ref=pe_386191_124736331_TE_3p_dp_1#productDetails

Precio: 1.30€/ud

También se dispone de otro tipo de disipador que se diferencia de este en las medidas y el color. Este segundo tiene la referencia B00VG7108M, es de color plateado y sus dimensiones son de 120x50x12.7mm.

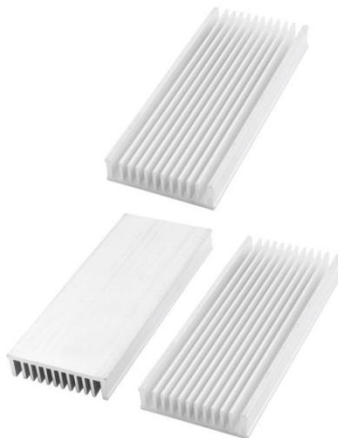


Ilustración 38: Disipador de calor para el prototipo plateado. Fuente:

https://www.amazon.es/Plateado-Radiador-Aluminio-Disipador-120x50x12-7mm/dp/B00VG7108M?ie=UTF8&ref=pe_386191_133102411_TE_item

Precio: 4€/ud

6.2.9. Pasta térmica para prototipo

La pasta térmica escogida para el prototipo ha sido comprada por Amazon y su referencia es B00H8MYC02. Las dimensiones de este producto son de 100x100x1mm, por lo que se podrá cortar en cuatro partes. Este elemento, además de hacer de cohesión entre las células y los disipadores también es un buen conductor térmico. A continuación se muestra una imagen de este elemento:



Ilustración 39: Pasta térmica para prototipo. Fuente:

https://www.amazon.es/dp/B00H8MYC02/ref=pe_386191_128908171_TE_3p_dp_1

Precio: 2.90€/ud

6.3. Ecuaciones

Voltaje obtenido por efecto Seebeck:

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT \quad Ec. 1$$

Ecuación simplificada:

$$V = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1) \quad Ec. 2$$

Factor de mérito:

$$Z = \frac{\sigma}{\kappa} S^2 \quad Ec. 3$$

Flujo calorífico obtenido por efecto Peltier

$$\dot{Q} = I \cdot (\Pi_B - \Pi_A) \quad Ec. 4$$

Relación gradiente de temperatura con la corriente eléctrica generada y el flujo de calor absorbido en un mismo material:

$$\frac{dQ}{dX} = I \cdot \frac{dT}{dx} \tau \quad Ec. 5$$

Relación efecto Peltier con Seebeck:

$$\Pi = S \cdot T \quad Ec. 6$$

Relación coeficiente de Thomson con el de Peltier

$$\tau = T \cdot \left(\frac{dS}{dT} \right) \quad Ec. 7$$

7. Índice ilustraciones

Ilustración 1: Efecto Seebeck.....	3
Ilustración 2: Efecto Seebeck.....	6
Ilustración 3: Efecto Peltier	7
Ilustración 4: Sistema termoelectrico BMW.....	10
Ilustración 5: Flujos residuales en el sistema de escape.....	10
Ilustración 6: Culatas motores.....	12
Ilustración 7: Radiador turismo.	13
Ilustración 8: Radiadorturismo real.....	13
Ilustración 9: Ejemplo conexión mixta.	14
Ilustración 10: Ejemplo convertidor Buck.	14
Ilustración 11: Esquema estabilizador.....	15
Ilustración 12: Recubrimientos contra humedad	19
Ilustración 13: Disipador de calor	20
Ilustración 14: Estructura exterior radiador.....	21
Ilustración 15: Soldadura TIG	22
Ilustración 16: Circuito eléctrico/electrónico del automóvil	27
Ilustración 17: Conjunto alternador-batería.	28
Ilustración 18: Circuito con batería adicional.....	28
Ilustración 19: Conexionado módulos TEG	29
Ilustración 20: Esquema global	30
Ilustración 21: Circuito termoelectrico	31
Ilustración 22: Consumo elementos automóvil.....	37
Ilustración 23: Iluminación interior.....	40
Ilustración 24: Car-Wifi.....	41
Ilustración 25: Módulo TEG.....	45



Il·lustració 26: Dissipador de calor	46
Il·lustració 27: Data logger TC-08	47
Il·lustració 28: Prisma de alumini	48
Il·lustració 29: Prototip final	49
Il·lustració 30: Montatge prova	50
Il·lustració 31: Fotografies tèrmiques del prototip	55
Il·lustració 32: T de sortida del fluid	57
Il·lustració 33: Radiador Valeo	72
Il·lustració 34: Convertidor Traco Power	75
Il·lustració 35: Bateria Ritar	76
Il·lustració 36: Mòdul SP1848-27145	77
Il·lustració 37: Dissipador de calor per al prototip	79
Il·lustració 38: Dissipador de calor per al prototip platejat	79
Il·lustració 39: Pasta tèrmica per al prototip	80

8. Índice tablas

Tabla 1: Energía alternador.....	38
Tabla 2: Coste directo equipamiento.....	43
Tabla 3: Coste directo aluminio.....	43
Tabla 4: Coste directo cableado	44
Tabla 5: Especificaciones Peugeot 208	71
Tabla 6: Especificaciones Radiador Valeo	72
Tabla 7: Pasta térmica	74
Tabla 8: Especificaciones técnicas convertidor	75
Tabla 9: Batería 12V	76
Tabla 10: Especificaciones módulo SP1848-27145.	77
Tabla 11: Comportamiento termoeléctrico	77

9. Índice gráficas

Gráfica 1: Tensión en función del mes para 1 TEG.....	33
Gráfica 2: Tensión en función del mes para 24 TEG.....	33
Gráfica 3: Intensidad en función del mes para 1 TEG.....	34
Gráfica 4: Intensidad en función del mes para 24 TEG.....	34
Gráfica 5: Potencia en función del mes para 1 TEG	35
Gráfica 6: Potencia en función del mes para 24 TEG.....	35
Gráfica 7: Evolución de la temperatura.....	36
Gráfica 8: T en función del tiempo	51
Gráfica 9: Diferencia de T.	51
Gráfica 10: Caída de T.....	52
Gráfica 11: Tensión producido por el prototipo.....	53
Gráfica 12: T en el eje y.....	56
Gráfica 13: T en el eje x.....	56
Gráfica 14: T salida del fluido.....	57
Gráfica 15: Coste en función de las unidades.....	73
Gráfica 16: Voltaje en función de T	78
Gráfica 17: Intensidad en función de T	78

10. Bibliografia

Es.wikipedia.org. (2016). *Efecto termoelèctrico*. [online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_termoele%C3%A9ctrico [Visitado 5 Marzo 2016].

Es.wikipedia.org. (2016). *Termoelectricidad*. [online] Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Termoelectricidad> [Visitado 5 Marzo 2016].

Universidad Nacional Autónoma de México. (2016). *Efecto Seebeck y Peltier*. [online] Disponible en: http://www.feriadelas ciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria382_01_efecto_seebec_y_peltier.pdf [Visitado 5 Marzo 2016].

Es.wikipedia.org. (2016). *Termoelectricidad*. [online] Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Termoelectricidad> [Visitado 5 Marzo 2016].

Red operativa de desguaces de España. (2016). *El radiador del coche ¿qué es y qué funciones realiza en nuestros vehículos?*. [online] Disponible en: <https://www.ro-des.com/mecanica/radiador-coche-que-es-y-la-funcion/> [Visitado 5 Marzo 2016].

Es.wikipedia.org. (2016). *Tubo de escape*. [online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_escape [Visitado 11 Marzo 2016].

Aficionadosalamecanica.com. (2016). *Refrigeración del motor del automóvil*. [online] Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm> [Visitado 11 Marzo 2016].

Coupé, F. (2016). *Foto Mercedes Clase C 63 AMG Edition 507 Coupé, imagen motor automóvil*. [online] Arpem.com. Disponible en: http://www.arpem.com/coches/coches/mercedes/clase_c/fotos/2013/63-amg-edition-507-2p-motor.html [Visitado 12 Marzo 2016].

Motorfull. (2016). *Generador termoelèctrico de BMW*. [online] Disponible en: <http://motorfull.com/2008/05/generador-termoeletrico-de-bmw> [Visitado 12 Marzo 2016].

Automundoo.com. (2011). *Automóvil BMW Active Hybrid 5, una maquina Híbrida*. [online] Disponible en: <http://www.automundoo.com/automovil-bmw-active-hybrid-5-una-maquina-hibrida> [Visitado 13 Marzo 2016].

Aficionadosalamecanica.com. (2016). *Refrigeracion del motor del automovil*. [online] Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm> [Visitado 13 Marzo 2016].

Radiador, r. (2016). *Recambios y repuestos de radiador, refrigeración del motor para tu coche al mejor precio*. [online] Recambiosviaweb.com. Disponible en: <http://www.recambiosviaweb.com/radiador-refrigeracion-del-motor.html> [Visitado 13 Marzo 2016].

Fierrosclasicos.com. (2012). *El radiador del auto | Fierros Clasicos*. [online] Disponible en: <http://www.fierrosclasicos.com/el-radiador-del-auto/> [Visitado 13 Marzo 2016].

Es.wikipedia.org. (2016). *Convertidor Buck*. [online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Buck [Visitado 17 Marzo 2016].

Es.wikipedia.org. (2016). *Convertidor Boost*. [online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost [Visitado 17 Marzo 2016].

YouTube. (2016). *Switch mode power supply tutorial: DC-DC buck converters*. [online] Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=CEhBN5_fO5o [Visitado 17 Marzo 2016].

Todosai.com. (2016). *Qué es un estabilizador de tensión - todosai*. [online] Disponible en: <http://todosai.com/blog/que-es-un-estabilizador-de-tension-b124.html> [Visitado 19 Marzo 2016].

Es.wikipedia.org. (2016). *Regulador de tensión*. [online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Regulador_de_tensi%C3%B3n [Visitado 19 Marzo 2016].

Imanol, G., Imanol, G. and perfil, V. (2009). *La electricidad: Cuestionario sobre conexión mixta*. [online] Igelectricidad.blogspot.com.es. Disponible en: <http://igelectricidad.blogspot.com.es/2009/11/1-que-es-una-conexion-mixtaque-otro.html> [Visitado 19 Marzo 2016].

Energit. (2016). *Estabilizador de tensión*. [online] Disponible en: http://www.energitsa.com.ar/cursos/Capitulo_07.pdf [Visitado 19 Marzo 2016].

Europeanthermodynamics.com. (2016). *Peltier generator modules*. [online] Disponible en: <http://www.europeanthermodynamics.com/products/thermoelectric-modules/peltier-generator> [Visitado 25 Marzo 2016].

Es.wikipedia.org. (2016). *Batería de plomo y ácido*. [online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_plomo_y_%C3%A1cido [Visitado 10 Abril 2016].

Radiador, r. (2016). *Radiador, refrigeración del motor VALEO 732930 - Radiador / Ventilador*. [online] Mister-Auto. Disponible en: http://www.mister-auto.es/es/radiador/valeo-732930_g470_a021732930.html [Visitado 23 Marzo 2016].

eHow en Español. (2016). *¿qué son las baterías de gel?* | eHow en Español. [online] Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/son-baterias-gel-info_313646/ [Visitado 10 Abril 2016].

Bateriasinversoressolarblau.com. (2014). *Diferencias entre baterías de tecnología AGM y GEL | SolarBlau*. [online] Disponible en: <http://bateriasinversoressolarblau.com/noticias/ventajas-baterias-agm-victron/> [Visitado 10 Abril 2016].

Internetmovil.orange.es. (2016). *Car Wi-Fi - ¿Te imaginas tener Wi-Fi en tu coche?*. [online] Disponible en: <http://internetmovil.orange.es/tarifas/car-wi-fi/> [Visitado 20 Abril 2016].

Arduino.cc. (2016). *Arduino - ArduinoBoardUno*. [online] Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> [Visitado 2 Abril 2016].

Wikipedia. (2016). *Carbon dioxide removal*. [online] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_removal [Visitado 25 Abril 2016].

Ec.europa.eu. (2016). *Electrical and electronic waste - Environment - European Commission*. [online] Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/waste/rohs_eee/index_en.htm [Visitado 25 Abril 2016].

Wikipedia. (2016). *Restriction of Hazardous Substances Directive*. [online] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Restriction_of_Hazardous_Substances_Directive [Visitado 25 Abril 2016].

Ritarpower.com. (2016). *RITAR VRLA Battery manufacturer - GEL, AGM, OPZV, OPZS, Solar inverter, MPPT*. [online] Disponible en: <http://www.ritarpower.com> [Visitado 25 Abril 2016].



Tglobalthermal.com. (2016). *Environment | T-Global Thermal Technology*. [online]
Disponible en: <http://www.tglobalthermal.com/green.php> [Visitado 26 Abril 2016].

Boe.es. (2016). *BOE.es - Documento consolidado BOE-A-2010-11154*. [online]
Disponible en: <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2010-11154&p=20100714&tn=1#ani> [Visitado 26 Abril 2016]

Eur-lex.europa.eu. (2016). *EUR-Lex - 32002L0096 - ES*. [online] Disponible en:
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0096&from=EN> [Visitado 27 Abril 2016].

Eur-lex.europa.eu. (2016). *L_2011174ES.01008801.xml*. [online] Disponible en:
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065&from=EN> [Visitado 4 Mayo 2016].

Aficionadosalamecanica.net. (2016). *Tipos de alternadores*. [online] Disponible en:
<http://www.aficionadosalamecanica.net/alternador.htm> [Visitado 4 Mayo 2016].